

MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DE LA RECHERCHE

BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES

SERVICE GÉOLOGIQUE NATIONAL

B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex – Tél.: (38) 63.00.12

ÉVALUATION DE L'ÉNERGIE CONSOMMÉE EN FRANCE EN OPÉRATIONS DE FRAGMENTATION

par

P. MARIOGE



Département minéralurgie

B.P. 6009 – 45018 Orléans Cédex – Tél.: (38) 63.00.12

76 SGN 307 MIN

Août 1976

R E S U M E

Cette étude effectuée en fonds propres B.r.g.m., dans le cadre d'un inventaire de la consommation d'énergie en France a eu pour but de déterminer la part qu'y prenaient les opérations de fragmentation .

Elle a montré que l'on rencontrait successivement par ordre de consommation décroissante :

- . la cimenterie ,
- . les industries extractives ,
- . l'électricité thermique (charbon pulvérisé) ,
- . les industries chimiques ,
- . la céramique ,
- . la sidérurgie ,
- . le traitement des résidus .

Cet inventaire a conduit à chiffrer à 3,06 TWh (environ 1 Mtec), soit 2 % de la consommation française d'électricité l'énergie dépensée annuellement pour ces opérations dans l'ensemble des différents secteurs industriels .

Sur la base de tarification moyenne de l'année de référence de l'étude (1972), la fragmentation a représenté une dépense de 440 MF.

Il apparaît donc que l'espoir d'améliorations mêmes modestes de rendement justifie largement d'inclure la fragmentation dans les programmes de recherche dont l'objectif est de conduire à des économies d'énergie .

TWh = Tera Watt heure = 10^9 Kwh

Mtec = Megatonne d'équivalent charbon

MF = Mega franc = 10^6 francs .

TABLE des MATIERES

P a g e s

R E S U M E

1.	INTRODUCTION	1
2.	BUT ET PROGRAMME DE L'ETUDE	1
3.	VENTILATION PAR SECTEURS INDUSTRIELS DE LA CONSOMMATION d'ENERGIE DE FRAGMENTATION.....	1
4.	EVALUATION DE L'ENERGIE SPECIFIQUE DE FRAGMENTATION EN FONCTION DE LA FINESSE DU PRODUIT.....	4
5.	VENTILATION DES DEPENSES SECTORIELLES D'ENERGIE DE FRAGMENTA- TION PAR CONSOMMATION SPECIFIQUE ET TONNAGE DE MATIERE COMMERCIALISE	6
6.	C O N C L U S I O N	8



ANNEXES :

06	ELECTRICITE.....	11
11	COMBUSTIBLES MINERAUX SOLIDES.....	23
12	MINERAI DE FER.....	31
13	MINERAIS METALLIQUES AUTRES QUE LE FER.....	43
14	MATERIAUX DE CONSTRUCTION EXTRAITS.....	51
15	MINERAUX DIVERS.....	69
16	SIDERURGIE.....	75
31	INDUSTRIE CERAMIQUE.....	83
32	MATERIAUX DE CONSTRUCTION : CEMENTS ET CHAUX	95
35-36	INDUSTRIES DIVERSES	107
89	RESIDUS SOLIDES URBAINS ET INDUSTRIELS.....	113
E1	CONSOMMATION FRANCAISE D'ELECTRICITE.....	119

1. INTRODUCTION .

L'analyse des processus d'élaboration des matières commercialisées fait, généralement, apparaître à certains stades des opérations de fragmentation, c'est-à-dire de réduction de dimension de grains par des moyens mécaniques .

La prise de conscience du caractère très précaire de l'approvisionnement en énergie et en matières premières pour les décennies à venir justifie un inventaire des dépenses que représentent ces opérations dans les divers secteurs industriels avec pour objectif à terme, une évolution des techniques d'élaboration vers les solutions les moins dispendieuses .

2. BUT ET PROGRAMME DE L'ETUDE .

Cette étude conduite dans le cadre des travaux propres du Brgm avait pour but de réaliser un inventaire des opérations de fragmentation dans l'industrie, analysées sous l'angle de leur consommation d'énergie. Des fascicules répertoriés suivant la classification INSEE ont été établis pour les principaux secteurs industriels consommant de l'énergie de fragmentation. Ils ont constitué l'élément de base du travail d'analyse ultérieur .

Ces fascicules sont annexés au présent rapport sous les références suivantes :

- (06) Production d'électricité (charbon pulvérisé).
- (11) Combustibles minéraux solides .
- (12) Minerai de fer .
- (13) Minerais métalliques autres que le fer .
- (14) Matériaux de construction extraits .
- (15) Minéraux divers.
- (16) Sidérurgie .
- (31) Industrie céramique .
- (32) Ciments et chaux .
- (35/36) Industrie chimique .
- (89) Résidus solides urbains et industriels .

En annexe, figure également un document (E1) qui récapitule les principales informations relatives à la production et à la consommation d'énergie électrique en France .

Nous avons cherché à prendre l'année 1972 comme période de référence en utilisant, cependant, les statistiques de 1971 lorsque celles-ci étaient les dernières connues .

3. VENTILATION PAR SECTEURS INDUSTRIELS DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE DE FRAGMENTATION .

Une première analyse globale des données vise à estimer, en valeur absolue par secteurs industriels, l'énergie de fragmentation consommée .

Les principaux résultats de cette évaluation sont résumés dans le tableau de la page 3 .

L'énergie consommée par les différents secteurs industriels figure :

- . colonne 1 en GWh (kWh x 10⁶)
- . colonne 2 en Mtec (tonnes d'équivalent charbon x 10⁶)
- . colonne 3 en % de la consommation d'énergie électrique
- . colonne 4 en MF (francs x 10⁶) .

La colonne 2 a été établie sur la base de l'équivalence 1 GWh = 333 tec.

La colonne 3 est basée sur une consommation française nette d'électricité de 148 TWh (pertes en ligne déduites).

La colonne 4 a été établie sur l'estimation d'un prix moyen de 0,144 F pour le kWh basse tension industrielle .

Les colonnes A et B ventilent l'industrie extractive .

Les différentes branches d'activité industrielle sont classées par ordre de consommation décroissante. On rencontre successivement :

- . la cimenterie ,
- . les industries extractives ,
- . le charbon pulvérisé ,
- . la chimie ,
- . la céramique ,
- . la sidérurgie et
- . le traitement des résidus .

L'ensemble de ces secteurs industriels représente, en opérations de fragmentation, 2 % environ de l'électricité consommée en France .

	A	B	1	2	3	4
	GWh	%	GWh	Mtec	%	MF
Ciments et chaux (32)			2 046	0,681	1,382	294,62
Industries extractives dont :			318	0,106	0,214	45,79
.combustibles minéraux solides (11)	18	0,012				
.minerai de fer (12)	47	0,031				
.minerais métalliques autres que le fer (13)	43	0,029				
.matériaux de construction extraits (14)	188	0,127				
.minéraux divers (15)	22	0,015				
Production d'électricité (06) (charbon pulvérisé)			270	0,090	0,182	38,88
Industrie chimique (35/36)			200	0,066	0,135	28,80
Industrie céramique (31)			129	0,042	0,087	18,57
Sidérurgie (16)			85	0,028	0,057	12,24
Résidus urbains et industriels (89)			21	0,006	0,017	3,02
			T O T A L			
			3 069	1,020	2,074	441,92

Consommation française d'énergie électrique de fragmentation.

4. EVALUATION DE L'ENERGIE SPECIFIQUE DE FRAGMENTATION EN FONCTION DE LA FINESSE DU PRODUIT .

Cette partie du rapport a pour objet de comparer pour les différents secteurs industriels, la consommation d'énergie de fragmentation par tonne de produit .

Le graphique de la page 5 donne l'ordre de grandeur de la consommation unitaire d'énergie de broyage (par tonne de matière) pour les différents secteurs considérés (en abscisse le d_{80} de la répartition granulométrique).

Nous avons superposé à ce graphique une grille tracée à partir de la loi de Bond. Cette grille suppose, en fait, que la fragmentation a été effectuée à partir d'un bloc de dimension infinie. Elle s'éloigne donc très nettement des résultats expérimentaux quand on s'écarte de cette hypothèse (par exemple, matériaux d'alluvions dont l'ordonnée est abaissée de toute l'énergie de fragmentation déjà fournie par l'érosion naturelle).

Elle n'a donc qu'un caractère très approximatif surtout dans la zone des produits grossiers, mais présente l'intérêt de permettre une certaine coordination des résultats .

Il n'a été reporté sur ce graphique que les secteurs pour lesquels la dispersion des caractéristiques des produits n'enlève pas toute signification physique à la valeur statistique .

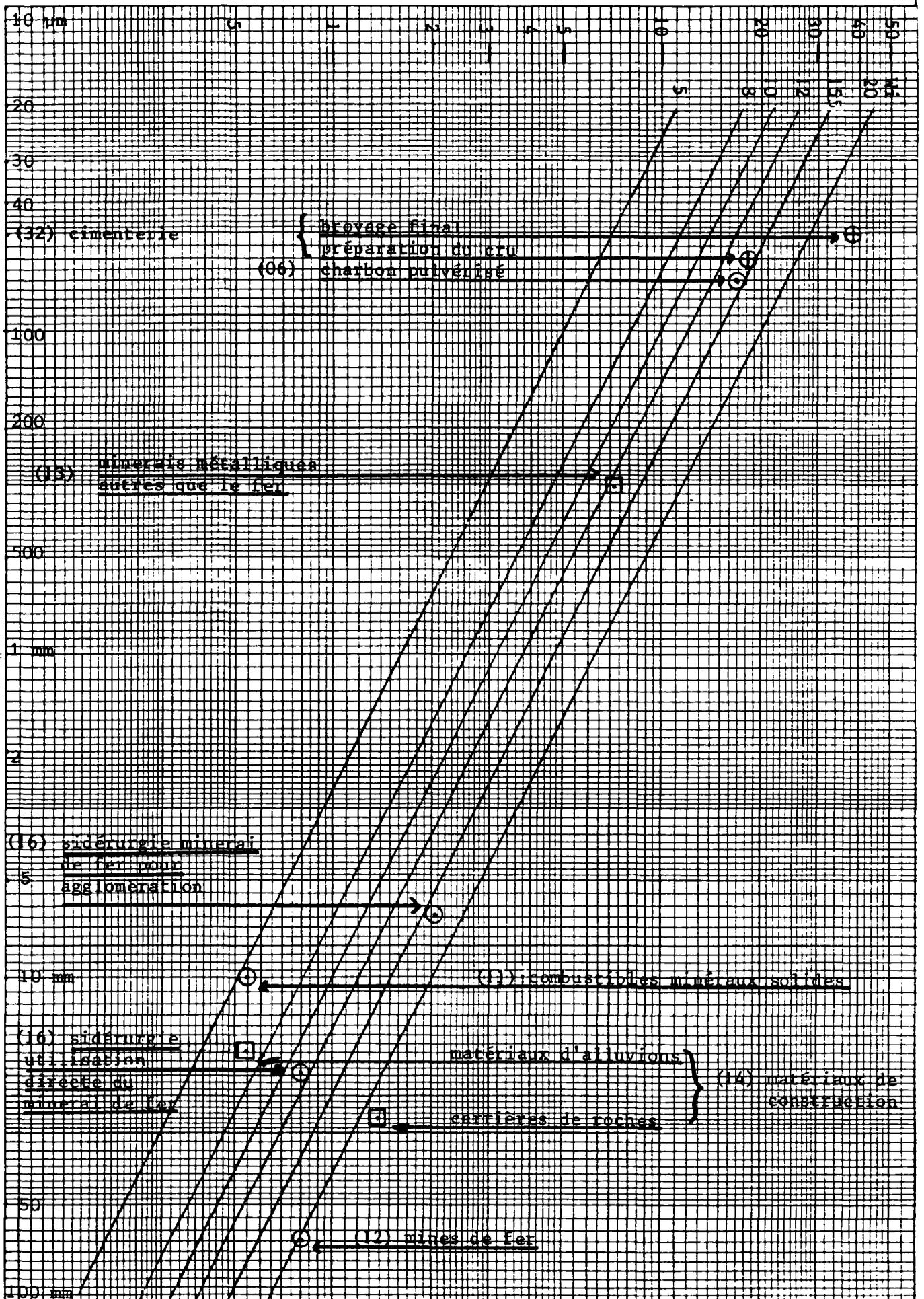
L'industrie chimique, la céramique, les minéraux divers et les déchets urbains n'y figurent donc pas .

Les principaux symboles utilisés pages 5 et 7 sont les suivants :

- ⊕ valeur partielle (ces valeurs sont additives pour un même produit)
- ⊙ valeur globale (ensemble du processus d'un même produit)
- valeur moyenne pour un secteur industriel diversifié .

Consommation unitaire d'énergie de fragmentation (KWh/t)

Dimension (d 80) du produit fragmenté



5. VENTILATION DES DEPENSES SECTORIELLES D'ENERGIE DE FRAGMENTATION PAR CONSOMMATION SPECIFIQUE ET TONNAGE DE MATIERE COMMERCIALISE .

Nous avons cherché ici à faire la synthèse des informations précédentes en caractérisant chaque secteur industriel par deux paramètres :

- . la consommation spécifique
- et
- . le tonnage commercialisé .

Le graphique de la page 7 donne pour les différents secteurs d'activité :

- . en abscisse, le tonnage traité en millions de tonnes,
- . en ordonnée, la dépense globale en énergie de fragmentation dans la profession en GWh (1 GWh = 1 million de KWh).

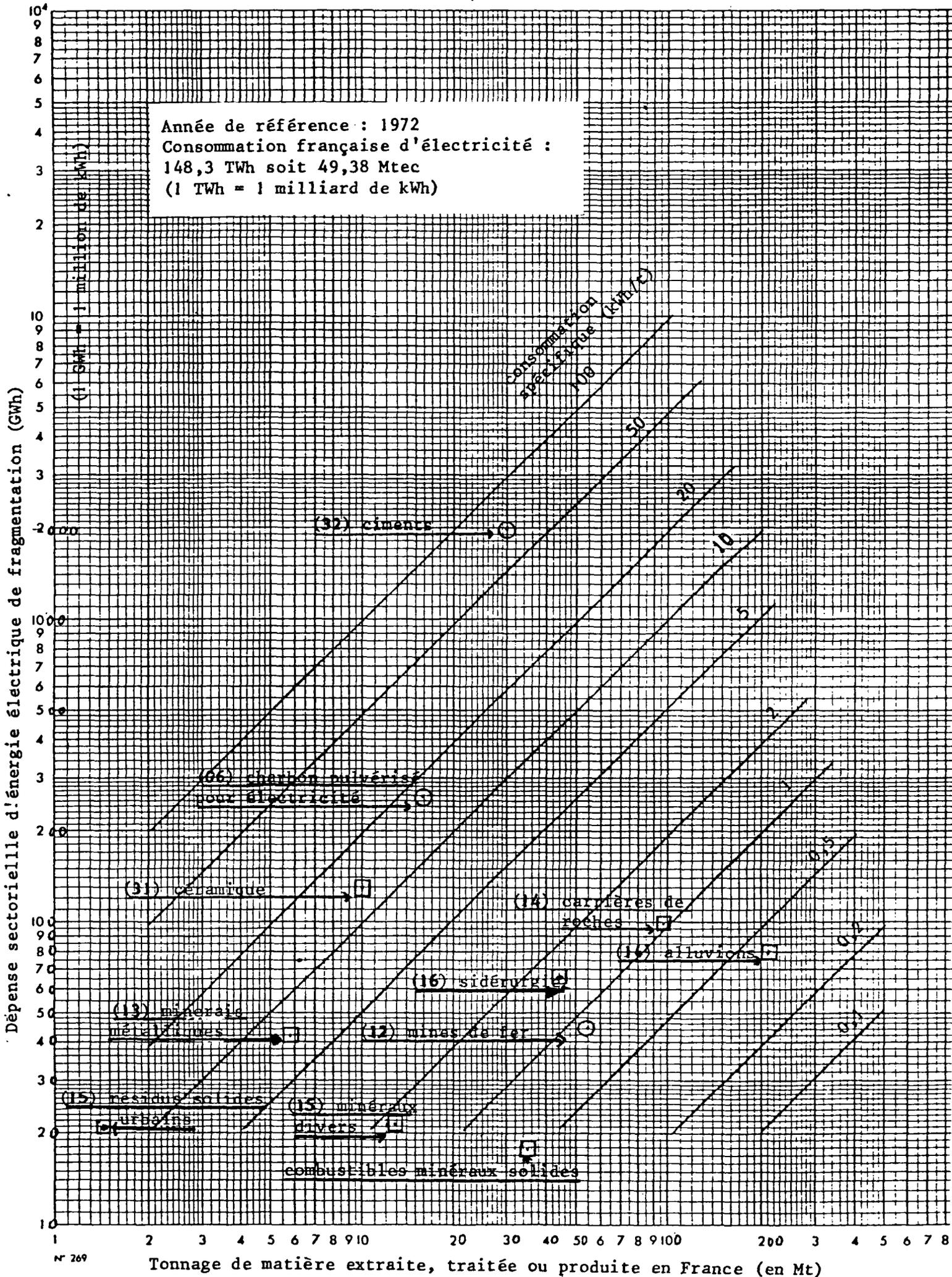
A ce graphique, est superposée une grille donnant la consommation moyenne en KWh/t dans le secteur professionnel considéré. Cette information représente une valeur moyenne, rapport entre l'énergie globale consommée en fragmentation dans le secteur et la quantité de matière commercialisée. Elle peut différer sensiblement de celle qui figure page 5 notamment :

- . lorsqu'il y a plusieurs opérations successives de fragmentation avec réagglomération intermédiaire : c'est le cas du ciment (32) ;
- . lorsque seule une partie de la matière concernée subit des opérations de fragmentation. C'est le cas notamment des produits de carrière (14) dont une partie est commercialisée en tout-venant .

Il en est de même pour le poste (15) : minéraux divers, la production française de potasse étant valorisée partiellement par préparation mécanique mais surtout par dissolution, c'est-à-dire sans fragmentation .

Pour la sidérurgie (16), la consommation d'énergie a été rapportée au tonnage de minerai traité et non à celui du métal obtenu dans le but d'homogénéiser cette information avec celle du poste (12) (minerai de fer).

L'industrie chimique représente un secteur trop diversifié pour qu'une telle information présente une signification quelconque. Elle ne figure pas sur ce graphique .



6. CONCLUSION .

Cet inventaire permet de situer la fragmentation dans la consommation d'énergie d'élaboration des matières .

L'ensemble des opérations de fragmentation atteint globalement 3 000 Gwh (environ 1 million de tec) soit de l'ordre de 2 % de la consommation d'électricité de l'année de référence .

Les industries extractives entrent dans ce total pour environ le dixième (0,1 Mtec) .

L'énergie de fragmentation peut être évaluée sur la base de tarification moyenne de l'année de référence à une somme de 440 MF .

On voit donc qu'un budget de recherche qui permettrait de conduire à 10 % d'économie pourrait se justifier du point de vue énergétique jusqu'à concurrence de 44 MF par an .

Financièrement parlant, ce montant devrait être diminué de l'amortissement des nouveaux investissements que l'application des résultats des travaux de recherche amènera à réaliser. L'enjeu des améliorations possibles dans ce domaine n'en reste pas moins très important .

A N N E X E S .

06 - ELECTRICITE

06 - ELECTRICITEOBJECTIF DE LA FRAGMENTATION

La pulvérisation du charbon permet de le traiter comme un combustible fluide pour les applications thermiques. Le charbon mis en suspension dans un courant d'air primaire est envoyé dans le brûleur où un courant d'air secondaire fournit le complément d'oxygène nécessaire à sa combustion.

Le critère de finesse demandé au charbon est essentiellement lié au processus de combustion pendant le trajet du grain dans le foyer.

La combustion doit être terminée lorsque le grain a achevé sa trajectoire. C'est par la teneur en imbrulés dans les cendres volantes et le mâchefer que l'on peut apprécier si la fragmentation a été suffisante pour les conditions de combustion dans la chaudière. Le taux d'imbrulés est en général inférieur à 1 %. Le charbon est stocké sous une granulométrie de l'ordre de 0 à 10 mm. Il est broyé avant combustion pour l'amener à un d80 de l'ordre de 70 microns.

METHODOLOGIE DE L'ENQUETE

L'évaluation a été conduite avec la collaboration d'EDF qui a pu nous fournir un certain nombre de documents à partir desquels il a été possible :

- de faire l'inventaire des centrales équipées pour fonctionnement au charbon pulvérisé et d'en connaître les caractéristiques ;
- d'évaluer pour ces centrales la moyenne de consommation d'énergie de fragmentation par tonne de charbon utilisée et par kWh produit.

Ces données ont été extrapolées à l'ensemble des centrales à charbon pulvérisé fonctionnant en France (EDF, et hors EDF).

RESULTATS

Tonnage total de matière commercialisée (millions de tonnes)	15,8		
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	total France en gWh (millions en kWh)	en kWh par tonne de matière commercialisée	en % de la consommation française d'énergie électrique
Concassage			
Broyage	270	17	0,182 %
Total fragmentation			
Consommation totale d'énergie électrique en France (en gWh)		148 000	

CHARBON PULVERISE

Les caractéristiques du combustible peuvent varier dans de très larges proportions d'une centrale à l'autre. Il est d'une façon générale avantageux d'utiliser les charbons les plus pauvres dans les centrales qui voisinent les exploitations.

S'il y a livraison à une distance importante, il y a intérêt au contraire à ce que le combustible soit au préalable valorisé sur le point d'extraction pour réduire sa teneur en cendres et éviter ainsi le transport de matière non combustible.

La teneur en cendres est généralement comprise entre 5 % et 30 %.

Le broyage du combustible et son transport au bruleur est généralement réalisé en une opération continue sans stockage intermédiaire.

Le charbon broyé est entraîné par un courant d'air vers le point d'utilisation.

Les broyeurs les plus généralement utilisés sont soit du type pendulaire (Raymond), soit du type tube à boulets.

Le broyage est effectué en circuit fermé sur classificateur utilisant l'air comme fluide moteur. Le ventilateur doit être considéré pour ce mode de fonctionnement comme partie intégrante du matériel.

La puissance consommée pour la classification et le transport est du même ordre que celle du broyeur proprement dit, mais seule une partie de cette énergie est utilisée pour la boucle de classification. L'analyse a été faite à partir des puissances installées pour les broyeurs et les ventilateurs dans les différentes centrales susceptibles d'utiliser du charbon comme combustible, et de la capacité nominale de ces broyeurs.

Ces informations sont extraites du rapport 1973 des services thermiques de l'EDF.

On a pu déterminer ainsi une valeur moyenne de l'énergie de fragmentation à la tonne de combustible. Cette estimation conduit à :

- 12,7 kWh pour le broyeur seul,
- 21,3 kWh pour l'ensemble (broyeur + ventilateur).

Les principales causes d'erreur que présente cette analyse peuvent provenir de ce que :

- la puissance installée est toujours supérieur à la consommation d'énergie en régime permanent ;
- l'estimation de la moyenne pondérée porte sur les deux paliers 125 et 250 MW, à l'exclusion des unités plus petites qui d'ailleurs ne sont plus très nombreuses en service ;
- la pondération a été faite sur le nombre de broyeurs mais ne prend pas en compte la répartition de charge entre les différentes usines (qui bien entendu varie d'une année sur l'autre) ;
- la valeur moyenne établie ne représente que les centrales gérées par EDF ;
- l'évaluation a été faite pour les groupes en service en 1973.

Nous avons reporté sur le tableau 19 certaines informations relatives à l'exploitation des centrales thermiques en 1971, 1972 et 1973.

Les nombres encadrés proviennent de statistiques publiées.
Les autres valeurs ont été déduites des précédentes par extrapolation.
Les flèches indiquent le cheminement du calcul d'extrapolation.

La conduite du calcul suppose que :

- le pouvoir calorifique moyen du combustible n'a pas varié pendant la période considérée.
La tec correspond à un pouvoir calorifique

$$\begin{aligned} P_{ci} &= 6,50 \text{ th/kg} \\ P_{cs} &= 6,75 \text{ th/kg.} \end{aligned}$$

Le pouvoir calorifique moyen du combustible utilisé par EDF en 1973 est voisin de

$$P_{cs} = 5,1$$

(moyenne pondérée charbon et lignite),
l'équivalent en tec de ce combustible est donc :

$$5,1 / 6,7 = 1 / 1,35 = 0,740$$

- le pouvoir calorifique moyen a pour l'ensemble des centrales une valeur analogue à l'estimation qui en est faite pour les seules centrales EDF ;
- la production des centrales hors EDF a peu varié pendant la période de 3 ans considérée ;
- la moitié environ de la puissance consommée par le ventilateur est utilisée pour la classification, le reste pour le transport. Les cas où les deux fonctions sont assumées par des ventilateurs séparés le confirment. On peut donc admettre les consommations spécifiques suivantes :

broyeur seul	: 12,7 kWh/t
classificateur	: 4,3 kWh/t
transport	: 4,3 kWh/t

Si l'on considère à juste titre que l'opération de classification en circuit fermé est partie intégrante du processus de broyage, on peut donc estimer à environ 17 kWh/t la consommation spécifique d'énergie de fragmentation.

Une variante du calcul est présentée page 20 .

La principale différence entre les deux bases de calcul réside dans la façon d'estimer le tonnage de combustible utilisé en 1972.

Page 19 on suppose la consommation de combustible au kilowatt produit identique pour l'ensemble des centrales à ce qu'elle est pour EDF (rapport EDF 73).

Page 20 on part de cette consommation spécifique globale connue pour 1971 (statistique INSEE) et on l'extrapole à 1972.

Les résultats sont très voisins : la première méthode conduit à une consommation totale d'énergie de fragmentation de 262 GWh, la seconde à 275 GWh.

On peut adopter comme valeur moyenne approximative 270 GWh pour 15,8 Mt de combustible utilisé.

	1971	1972	1973
équivalent en M tec de la consommation de charbon	7,8	6,2	4,9
équivalent en tec du charbon effectivement utilisé		1/1,35 ←	1/1,35
consommation de charbon (en Mt)		8,37	
consommation unitaire (kWh/t) broyeur seul		12,7 ←	12,7
consommation unitaire (kWh/t) broyeur et ventilateur		21,3 ←	21,3
consommation unitaire (kWh/t) broyeur et air de classification		17 ←	17
production d'électricité à partir de charbon dans les centrales EDF (TWh)	23	19	14
production d'électricité à partir du charbon dans les centrales hors EDF (TWh)	16 →	16	
production d'électricité à partir du charbon pour l'ensemble des centrales (EDF et autres) (TWh)		35	
part EDF de la production thermique à partir de charbon		↓ 19/35 = 0,542	
consommation de charbon pour l'ensemble des centrales (EDF et autres) en Mt		↓ 8,37/0,542 = 15,442	
consommation d'énergie de fragmentation pour l'ensemble des centrales (EDF et autres) (GWh)		↓ 17x15,442 = 262 GWh	

Centrales EDF

	1971	1972	1973
équivalent en M tec de la consommation de charbon	7,8	6,2	4,9
équivalent en tec du charbon effectivement utilisé		1/1,35 ←	1/1,35
		↓	
consommation de charbon (en Mt)	9,843	8,37	
consommation unitaire (kWh/t) broyeur seul		12,7 ←	12,7
consommation unitaire (kWh/t) broyeur et ventilateur		21,3 ←	21,3
consommation unitaire (kWh/t) broyeur et air de classification		17 ←	17
production d'électricité à partir de charbon dans les centrales EDF (TWh)	23	19	14
production d'électricité à partir du charbon dans les centrales hors EDF (TWh)	16 →	16	
production d'électricité à partir du charbon pour l'ensemble des centrales (EDF et autres) (TWh)	39	35	
part EDF de la production thermique à partir de charbon	23/39 = 0,589		
consommation de charbon pour l'ensemble des centrales (EDF et autres) en Mt	19,052	8,37/ 0,516 = 16,221	
Rapport des consommations de charbon centrales EDF/ensemble des centrales	9.843/ 19.052 = 0,516 →	0,516	
consommation d'énergie de fragmentation pour l'ensemble des centrales (EDF et autres) GWh		17x16,221 = 275	

centrales EDF

LISTE DES CENTRALES EDF FONCTIONNANT AU CHARBON

PALIER 250 MW	Par broyeur				Par tonne de charbon broyé		Nombre de broyeurs	Moyenne pondérée			
	Débit unitaire t/h	Puissance installée			Puissance installée			broyeur seul	broyeur + ventilateur		
		broyeur kW	ventilateur kW	total kW	broyeur kWh/t	total kWh/t					
ALBI	40	320	295	615	8,0	15,3	4	4	32	4	61
BLENOD	18,3	260	185	445	14,2	24,3	8	8	113	8	194
"	30	460	330	790	15,3	26,3	5	5	76	5	131
"	30	550	330	880	18,3	29,3	8	8	146	8	234
LE HAVRE	49	600	400	1 000	12,2	20,4	3	3	36	3	61
LA MAXE	30	460	330	790	15,3	26,3	8	8	122	8	210
PONT sur SAMBRE	30	330	550	880	11,0	29,3	4	4	44	4	117
VAIRES sur MARNE	18			370		20,5	8			8	164
"	22			374		17,0	6			6	102
VITRY sur SEINE	30	300	360	660	10,0	22,0	8	8	80	8	176
"	30	300	450	750	10,0	25,0	8	8	80	8	200
								56	729	70	1650
								13,0		23,5	

LISTE DES CENTRALES EDF FONCTIONNANT AU CHARBON

PALIER 125 MW	Débit unitaire t/h	Par broyeur			Par tonne de charbon broyé		Nombre de broyeurs	Moyenne pondérée			
		Puissance installée			Puissance	installée		broyeur		broyeur + ventilateur	
		broyeur kW	ventilateur kW	total kW	broyeur kWh/t	total kWh/t					
ANSEREUILLES	15,4			268		17,4	10			10	174
"	38	810	357	1 157	21,3	30,4	4	4	85	4	121
ARJUZANY	45			450		10	6			6	60
BEAUTOR	18			330		18,3	15			15	275
CHALON	20	125	110	235	6,2	11,7	8	8	49	8	93
COMINES	15,4			276		17,9	5			5	89
CREIL	10			265		26,5	16			16	424
PONT sur SAMBRE	15,4			276		17,9	10			10	179
PORCHEVILLE A	15,7			331		21,0	16			16	336
STRASBOURG	18,7			426		22,7	8			8	181
Report palier 250 MW								56	729	70	1650
								68	863	168	3582
								12,7		21,3	

11 - COMBUSTIBLES MINERAUX SOLIDES

11 - COMBUSTIBLES MINERAUX SOLIDES

OBJECTIF DE LA FRAGMENTATION.

Le tout-venant extrait de la mine est partiellement préconçassé pour amener les plus gros blocs à une dimension qui permette leur passage au lavoir.

Les mixtes qui apparaissent au cours de la valorisation doivent être fragmentés jusqu'à la dimension qui rend leur libération économiquement rentable par un traitement ultérieur.

Le charbon qui est commercialisé directement pour l'industrie et les foyers domestiques ne subit pas d'autre fragmentation. Celui qui est destiné à la cokéfaction, par contre, doit être amené à une dimension de grains de l'ordre de 3 mm.

METHODOLOGIE DE L'ENQUETE.

Il a été utilisé une méthode globale d'évaluation à partir des statistiques de production de l'Industrie minière et d'évaluations de consommation spécifique communiquées par des constructeurs.

RESULTATS.

Tonnage total de matière commercialisée (millions de tonnes)	35 Mt		
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	total France en gWh (millions en kWh)	en kWh par tonne de matière commercialisée	en % de la consommation française d'énergie électrique
Conçassage			
Broyage			
Total fragmentation	18	0,5	0,012 %
Consommation totale d'énergie électrique en France (en gWh)		148 000	

COMBUSTIBLES MINÉRAUX SOLIDES.

L'utilisation des combustibles minéraux solides dans l'industrie et les foyers domestiques oriente les producteurs sur la forme à donner aux produits commercialisés.

Le calibre des grains et la teneur en impuretés sont les deux principaux critères d'évaluation des possibilités d'application.

D'une façon générale la demande élimine les trop gros blocs et surtout les grains trop petits.

Le combustible est également pénalisé par une teneur en cendres trop élevée.

Une partie de la production n'est pas utilisée en l'état, mais après certaines transformations, notamment la cokéfaction et l'agglomération.

L'agglomération est essentiellement une forme de valorisation des produits trop fins.

La cokéfaction par contre, conduit à un combustible aux caractéristiques particulières correspondant à des applications pour lesquelles le charbon naturel ne conviendrait pas.

Le processus de préparation de la pâte à coke nécessite une fragmentation assez fine.

L'objectif des opérations de fragmentation dans le domaine de la préparation du charbon comporte donc les principaux postes suivants :

- réduire le tout venant de la mine qui peut contenir de très gros blocs à une dimension commerciale optimale en produisant le moins possible de fines ;
- diviser les grains mixtes pour permettre leur enrichissement ;
- amener le charbon cokéfiabie à la finesse nécessaire pour la préparation de la pâte à coke.

La valorisation du charbon conduit à éliminer comme stérile une certaine partie du tout-venant. Le charbon commercialisé représente environ 65 % du tonnage de tout-venant extrait.

Les tonnages de charbon sur lesquels ont porté les opérations de fragmentation pour l'année de référence 1971 ont été établis à partir du diagramme d'extraction de charbon et de production de coke qui figure en annexe.

La vente de combustible au cours de cette année de référence a été de 35,766 Mt ce qui correspond à une extraction de tout-venant de :

$$\frac{35,766 \text{ Mt}}{0,65} = 55 \text{ Mt.}$$

La production de coke a été pour la même année :

- pour les cokeries minières : 7,384 Mt
- pour les cokeries sidérurgiques : 5,117 Mt.

Il en résulte une production totale de 12,501 Mt qui a été réalisée à partir de 16,541 Mt de charbon de diverses origines (dont 9,678 Mt de provenance française).

Ces bases permettent d'évaluer la consommation d'énergie en opérations de fragmentation pour les trois principaux postes : préconcassage, valorisation des mixtes, préparation de la pâte à coke.

PRECONCASSAGE.

Cette opération consiste à amener le tout-venant de la mine à une dimension qui permette son traitement tout en favorisant la commercialisation ultérieure.

Les lavoirs modernes, pourraient traiter, notamment par liqueur dense, des blocs d'assez grande dimension (200, 300 voire même 500 mm).

En fait de telles installations nécessitent des investissements importants.

Il y a donc intérêt à ce que le préconcassage d'entrée ne soit pas effectué à une maille très supérieure à celle du produit qui sera commercialisé.

Cette dimension sera souvent comprise entre 50 et 150 mm.

La fragmentation porte sur environ 3 % du tonnage extrait soit :

$$55 \text{ Mt} \times 0,03 = 1,65 \text{ Mt}$$

L'énergie consommée par cette opération correspond à environ 0,15 à 0,25 kWh/t.

En prenant la valeur moyenne 0,20 kWh/t, la consommation de ce poste peut être estimée à :

$$0,20 \times 1,65 = 0,33 \text{ gWh.}$$

VALORISATION DES MIXTES.

A la granularité du produit préconcassé, il reste après obtention du charbon lavé et du stérile un certain pourcentage de mixtes.

Ces mixtes ne peuvent être libérés qu'au prix d'une fragmentation plus poussée.

La maille de libération économique est différente suivant la mine. On peut l'estimer à une valeur moyenne de 10 mm.

Cette opération correspond à une dépense d'énergie de l'ordre de 0,5 kWh/t et porte sur environ 7 % du tonnage de tout-venant extrait soit :

$$55 \text{ Mt} \times 0,07 = 3,85 \text{ Mt}$$

La consommation de ce poste s'élève donc sensiblement à :

$$0,5 \times 3,85 = 1,92 \text{ gWh.}$$

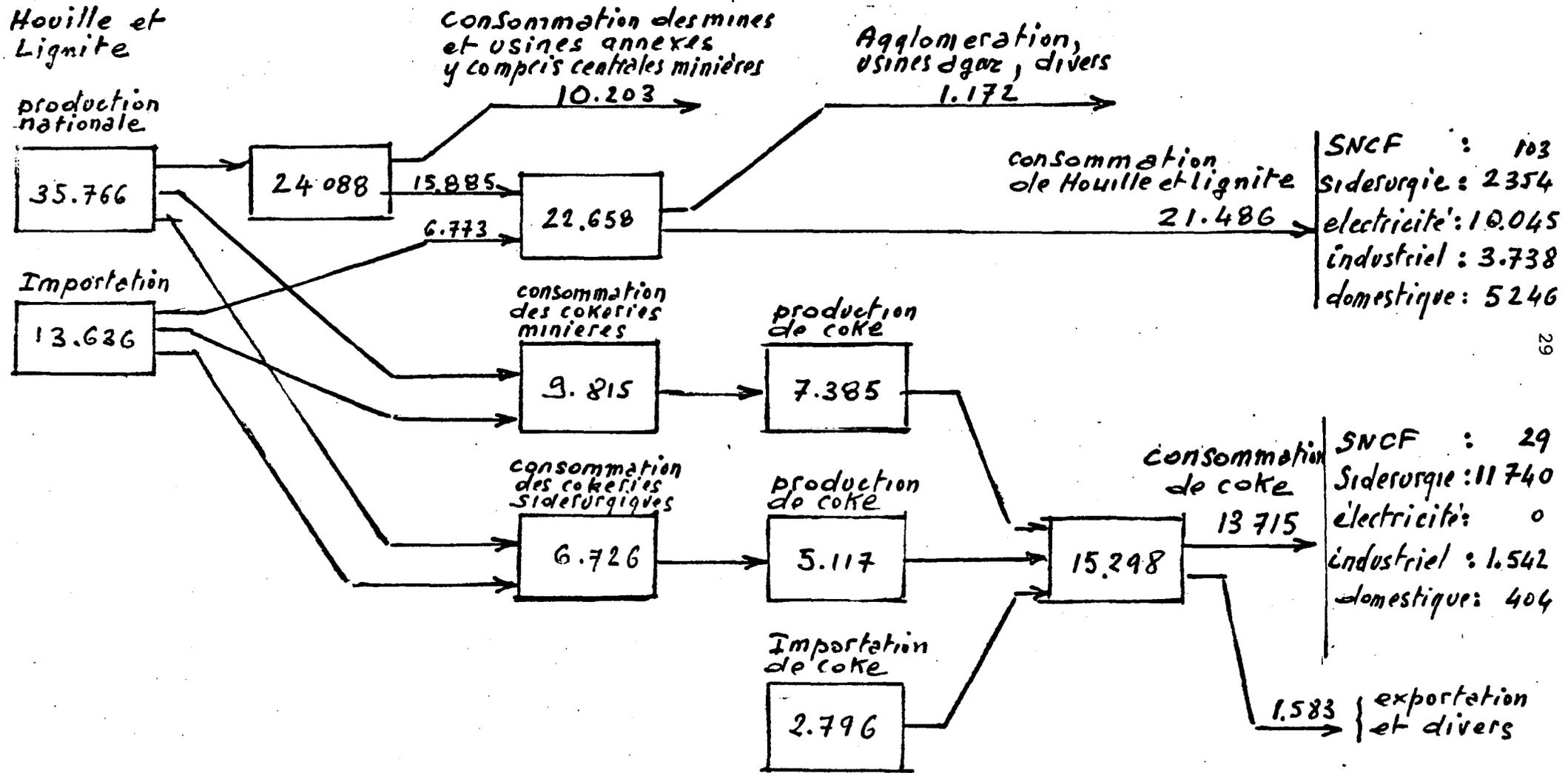
PREPARATION DE LA PATE A COKE.

Le charbon destiné à la préparation de la pâte à coke doit être amené à une dimension de l'ordre de 3 mm.

Cette opération consomme environ 1 kWh/t. Appliquée à une production de 16 Mt cela conduit à une consommation d'énergie de 16 gWh.

Extraction de charbon et production de coke. (en kt)

Année 1971



12 - MINERAI DE FER

12 - MINERAI DE FER

OBJECTIF DE LA FRAGMENTATION

Le minerai de fer est destiné à être transformé en fonte dans le haut fourneau. Le processus de fonctionnement de ce type de réacteur explique les contraintes granulométriques imposées à la matière.

- Des morceaux trop gros présentent un rapport surface/volume trop faible qui ralentit les transformations chimiques à intervenir pendant le parcours de la charge.
- Des particules trop fines divisent le trajet des gaz et augmentent ainsi les pertes de charge.

On est donc conduit à une double opération de fragmentation et de calibrage qui amène une partie du minerai dans la fraction granulométrique optimale. On procède ensuite à l'agglomération des produits trop fins qui ont pris naissance au cours de cette opération et des manutentions antérieures.

METHODOLOGIE DE L'ENQUETE

Nous avons utilisé une méthode globale d'évaluation à partir des statistiques de production de l'Industrie minière et d'informations générales recueillies auprès de la chambre syndicale des mines de fer et de l'I.R.S.I.D.

Nous avons affecté à l'activité minière proprement dite, la fragmentation jusqu'au stade de 100 mm qui constitue la base habituelle de livraison aux usines sidérurgiques.

La fragmentation ultérieure pour la consommation directe du minerai 10/30 et après agglomération du 0/10 a été estimée dans ce chapitre mais sera affectée au poste (16) (sidérurgie), cette préparation ayant effectivement lieu dans les usines sidérurgiques.

RESULTATS

Tonnage total de matière commercialisée (millions de tonnes)	55 Mt		
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	total France en gWh (millions en kWh)	en kWh par tonne de matière commercialisée	en % de la consommation française d'énergie électrique
Concassage	44	0.8	0,029 %
Broyage	3		0,002 %
Total fragmentation	47		0,031 %
Consommation totale d'énergie électrique en France (en gWh)		148 000	

MINERAI DE FER

Entre l'extraction sur le gisement et l'introduction dans le haut fourneau ou dans l'unité d'agglomération, le minerai de fer subit plusieurs opérations de concassage et criblage.

La notion de produit marchand est essentiellement liée aux contrats de livraison entre mines et usines. La granulométrie des produits les plus habituellement livrés par les mines semble être le 0/100 mm. C'est cette valeur que nous adopterons pour situer la frontière entre la mine de fer (12) et la sidérurgie (16). Les dernières statistiques de l'industrie minière publiées au moment de l'établissement de ce rapport étaient relatives à l'année 1971. C'est donc sur cette période que portera notre analyse.

En 1971 on a extrait en France 55.861.000 t de minerai de fer (contenant 17.127.000 t de fer métal), 35.847.000 t ont été livrées à l'industrie sidérurgique française, et 18.634.000 t à l'exportation (surtout vers le Bénélux et la Sarre).

La consommation de minerai de fer par la sidérurgie française a été de 44.143.000 t, ce qui correspond à une consommation de 8.336.000 t de minerai importé (dont la teneur moyenne n'est pas précisée) en provenance surtout de Mauritanie, Brésil, Suède. On peut schématiser la production française de fonte à partir du minerai par le diagramme de la page 38. On voit notamment que 35/44 (soit 79 %) du minerai de fer traité au H.F y est introduit après agglomération.

Les 8.715.000 tonnes introduites directement au H.F sont constituées par un produit criblé, de l'ordre de 10/30 mm.

La matière traitée par agglomération est inférieure à 10 mm.

La transformation à faire subir au minerai de fer peut être schématisée très grossièrement par le graphique de la page 40 établi en supposant que la répartition granulométrique du produit se présente suivant une pente voisine de $\sqrt{2}$.

Si l'on amène le produit à la dimension 0/30 mm on voit que le refus à 10 mm est voisin de 50 %.

La fraction 10/30 traitée au HF provient donc pour l'ensemble de la sidérurgie d'un tonnage global égal à $8.715.000 \times 2 = 17.430.000$ t.

Le reste du minerai traité en France (soit $44.143.000 - 17.430.000 = 26.713.000$ t) est donc amené directement par fragmentation à l'état de 0/10 mm.

On a donc le schéma très approximatif suivant.

L'ensemble du minerai extrait en France (55,8 Mt) est amené à la granulométrie 0/100 (courbe (1)).

L'ensemble du minerai destiné à la sidérurgie française provenant d'extraction en France et d'importation (soit 44 Mt) passe par fragmentation :

- soit à l'état de 0/30 (courbe (2)) : 17,4 Mt
- soit à l'état de 0/10 (courbe (3)) : 26,7 Mt.

On doit donc faire une estimation de la consommation d'énergie de fragmentation relative aux transformations suivantes :

- 12) Mines de fer
du tout-venant à - 100 mm (d80 du produit = 65 mm)
- 16) Usines sidérurgiques
16.1 de - 100 mm à - 30 mm (d80 du produit = 20 mm)
16.2 de - 100 mm à - 10 mm (d80 du produit = 6,5 mm)

Des informations recueillies dans la profession nous conduisent aux consommations spécifiques suivantes :

- 12) de tout-venant à - 100 mm : 0,8 kWh/t
- 16.1 de - 100 mm à - 30 mm : 0,8 kWh/t
- 16.2 de - 100 mm à - 10 mm : 2 kWh/t

L'évaluation de la consommation globale d'énergie pour la préparation en France du minerai de fer conduit donc aux valeurs suivantes :

12) Mines de fer

du tout-venant à -100 mm : $0,8 \text{ kWh} \times 55 \text{ Mt} = 44 \text{ gWh}$

16) Sidérurgie

16.1 de - 100 mm à - 30 mm : $0,8 \text{ kWh} \times 17,4 \text{ Mt} = 14 \text{ gWh}$

16.2 de - 100 mm à - 10 mm : $2 \text{ kWh} \times 26,7 \text{ Mt} = 53 \text{ gWh}$.

ENRICHISSEMENT DU MINERAI

L'enrichissement du minerai de fer (traitement destiné à augmenter sa teneur) reste une opération exceptionnelle. Elle est pratiquée à l'usine de Metzange (mine d'Angervillier). Elle conduit à une fragmentation plus poussée du minerai de fer (broyage).

La puissance de broyage installée est de 434 kW. Sur la base de 7.200 t/an il en résulte une consommation supplémentaire de 3 gWh.

RECAPITULATION

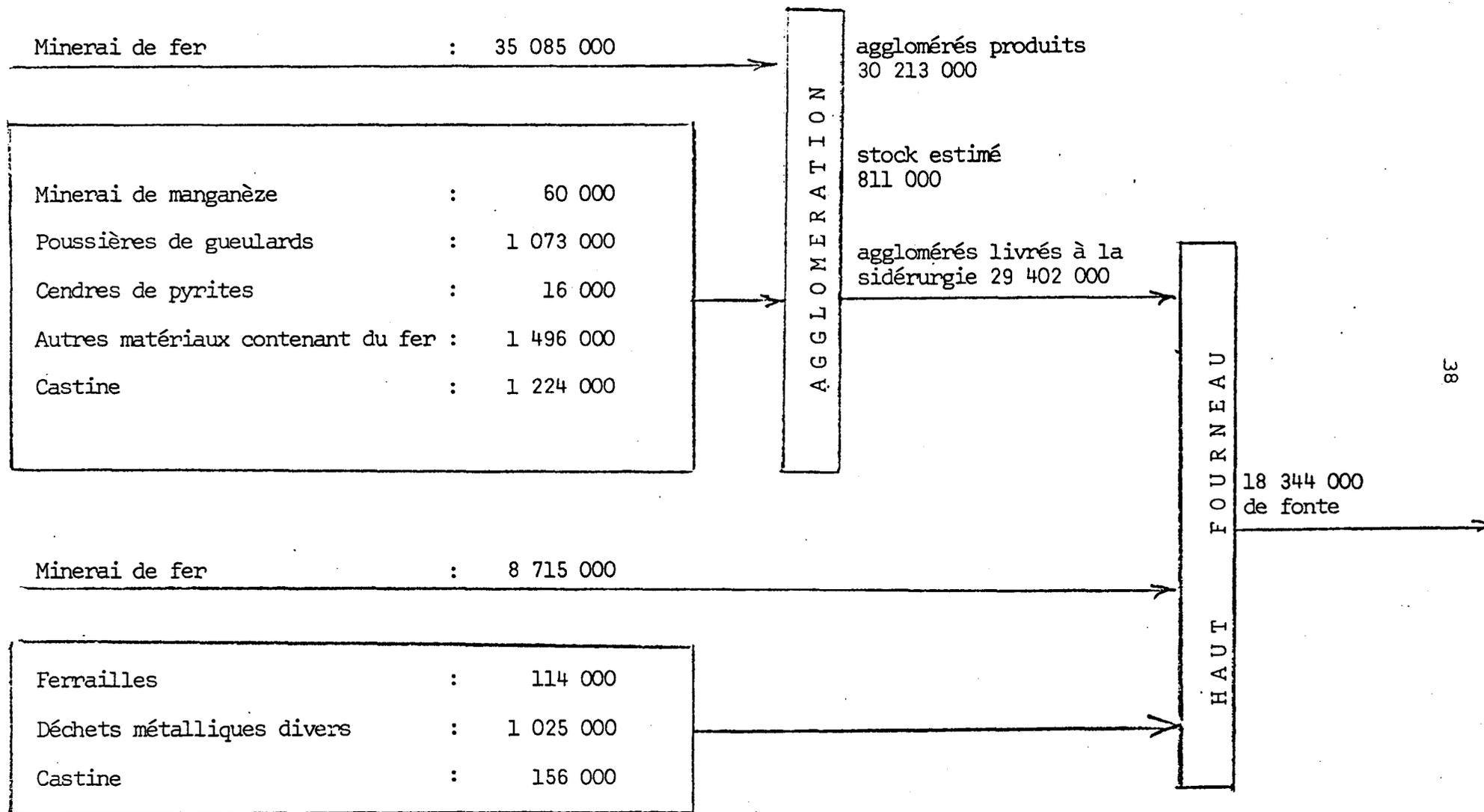
En situant à 100 mm comme indiqué précédemment, la limite entre la mine de fer et l'usine sidérurgique, on peut ventiler les dépenses de fragmentation de la façon suivante :

mine de fer : (concassage : 44 gWh
 broyage : 3 gWh

sidérurgie : concassage : 67 gWh.

DIAGRAMME DE TRAITEMENT DU MINERAL DE FER (année 1971)

(en tonnes)

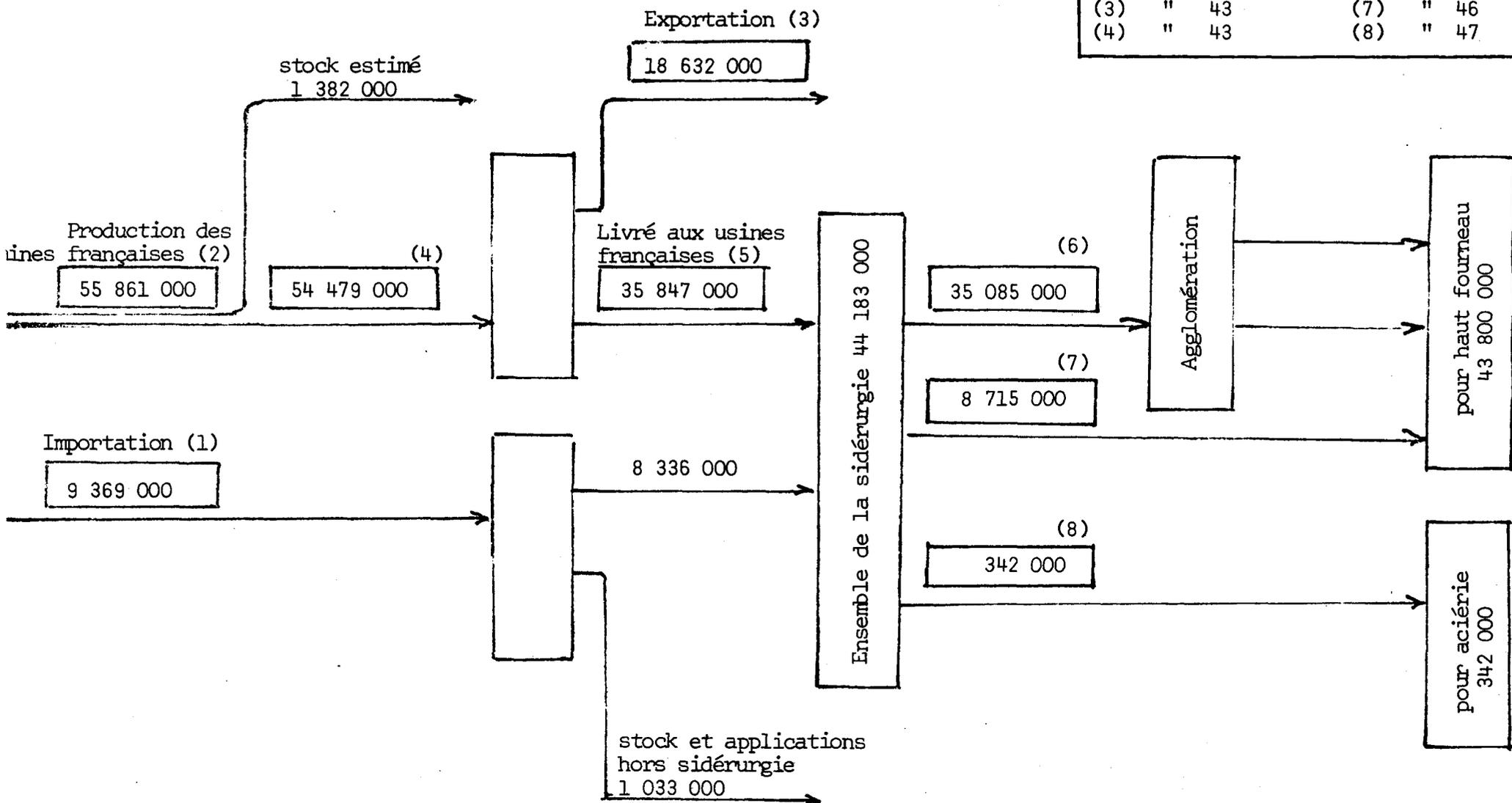


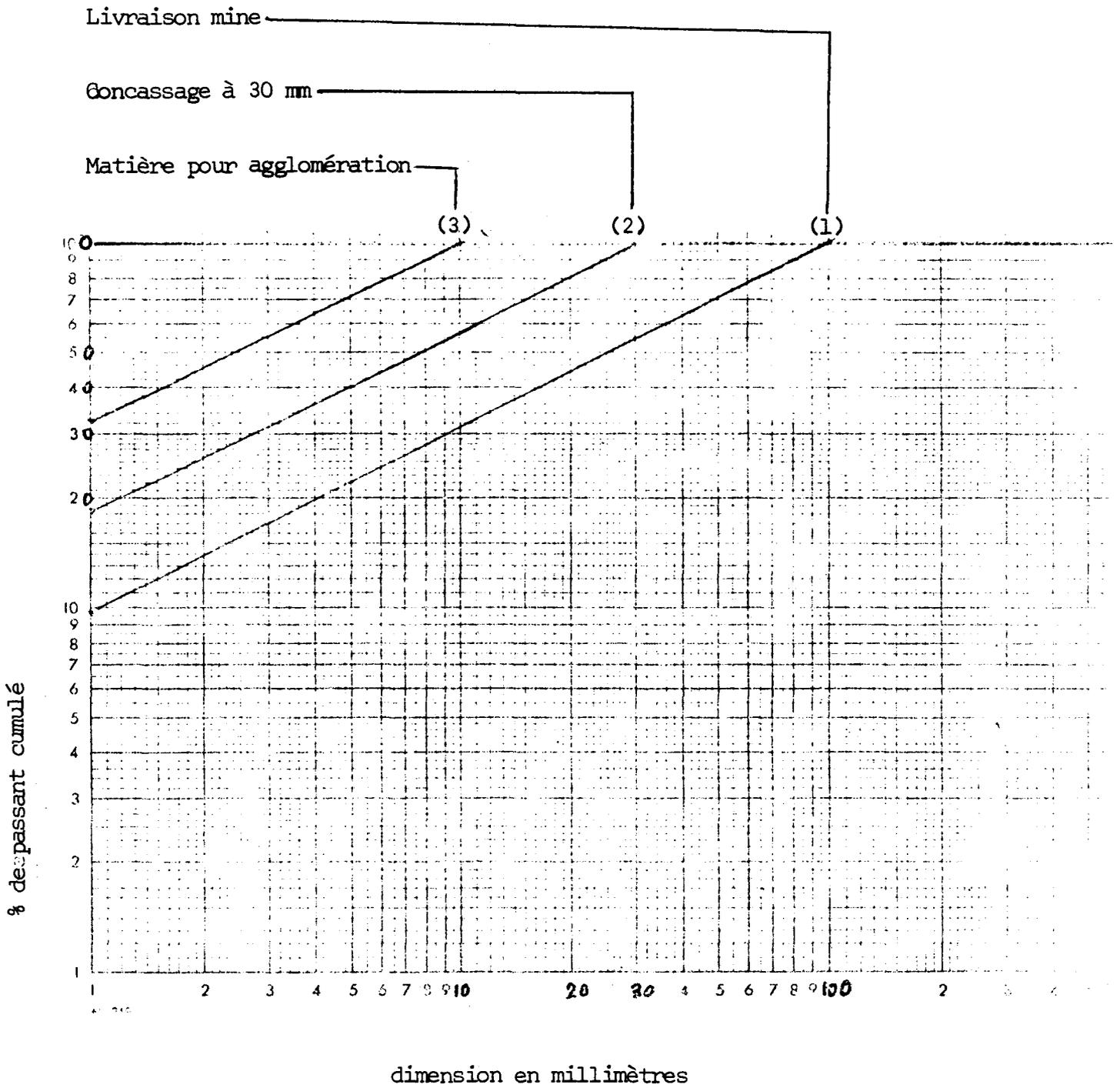
BILAN FRANCAIS DU MINERAI DE FER

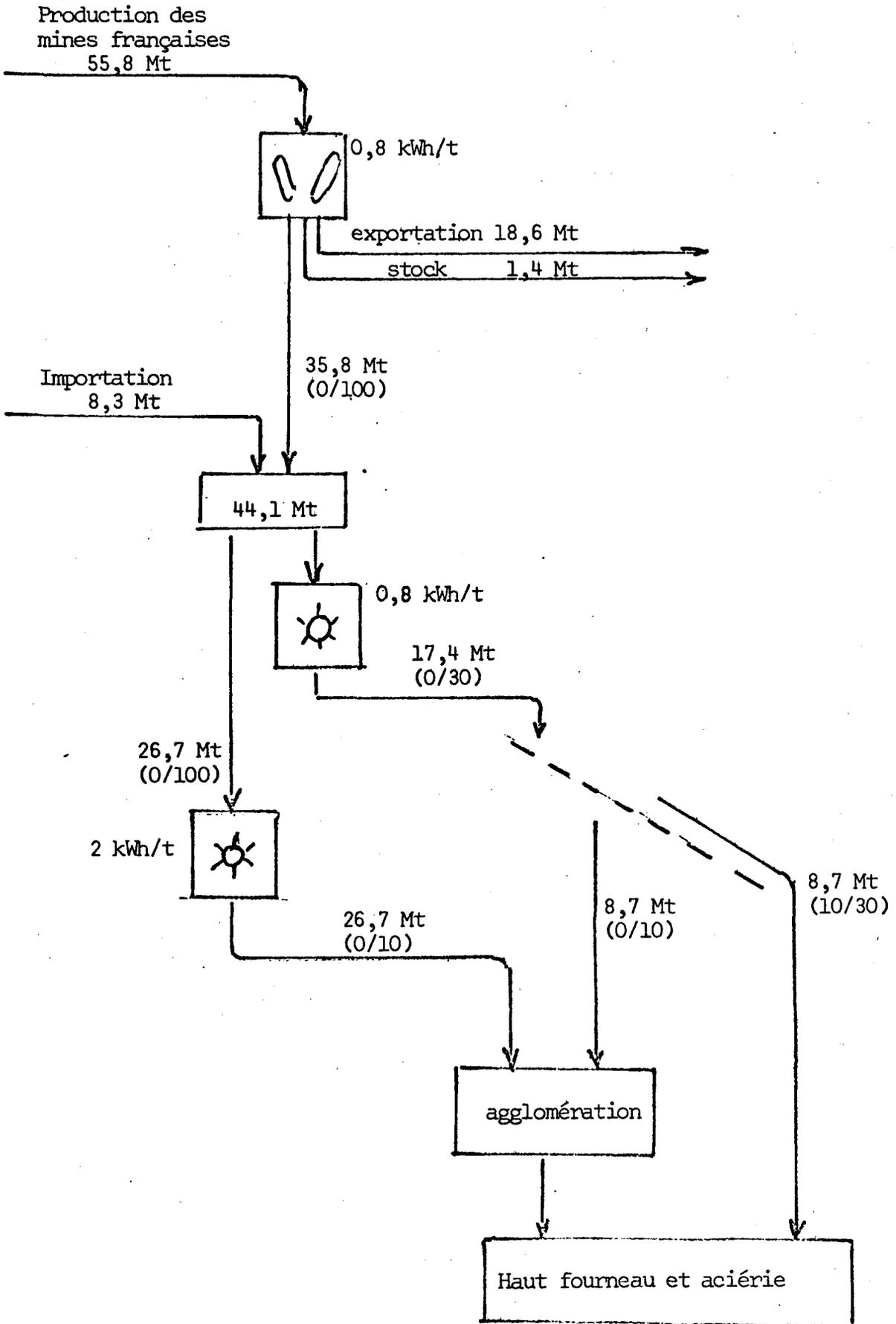
(en tonnes)

Origine des informations :
 statistiques de l'industrie minière (71)

(1) page 112	(5) page 43
(2) " 42	(6) " 46
(3) " 43	(7) " 46
(4) " 43	(8) " 47







13 - MINERAIS METALLIQUES AUTRES QUE LE FER

13 - MINERAIS METALLIQUES AUTRES QUE LE FER

OBJECTIF DE LA FRAGMENTATION

Le minéral de valeur ne représente généralement qu'une faible fraction du tout-venant extrait.

Pour pouvoir devenir une matière première de l'industrie métallurgique, le minerai doit au préalable être enrichi par élimination d'une partie de la gangue stérile d'accompagnement.

Le résultat de l'opération de fragmentation est la création de grains qui sont, soit du minerai pur, soit du stérile, soit du mixte.

L'objectif de l'opération est que :

- chacun de ces types de grains présente dans une fourchette de dimension où sa séparation est possible par le traitement de valorisation ;
- le pourcentage de mixtes soit aussi faible que possible.

Le degré de finesse optimal concerne essentiellement la dimension des grains du minéral de valeur, mais celui-ci n'étant pas accessible aux mesures directes, c'est sur la dimension des grains du minerai global que l'on base la consigne de fragmentation.

Le résultat du broyage est généralement caractérisé en minéralurgie par le d_{80} du produit. Celui-ci se situe suivant le type de minerai entre 80 μm et 500 μm .

On peut cependant penser que les mines à teneur élevée seront de plus en plus rares à l'avenir, et que l'exploitation s'orientera vers des gisements contenant des réserves importantes, mais à faible teneur. La valorisation de ce type de minerai nécessitera généralement des broyages plus fins.

METHODOLOGIE de L'ENQUETE.

L'enquête a été conduite de façon directe par analyse des monographies des principales laveries exploitées en France (en 1971).

Quelques ateliers de valorisation manquent à notre inventaire. Depuis 1971, certaines laveries ont été mises en service (Salau) d'autres, par contre, ont été arrêtées (La Plagne).

L'évaluation de l'énergie prise en compte provient suivant les cas :

- soit d'informations directes communiquées par les exploitants ;
- soit de calculs approximatifs établis à partir de la puissance installée.

RESULTATS

Tonnage total de matière commercialisée (millions de tonnes)	6 Mt		
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	total France en gWh (millions en kWh)	en kWh par tonne de matière commercialisée	en % de la consommation française d'énergie électrique
Concassage	14,1	2,35	0,010 %
Broyage	29,8	4,96	0,019 %
Total fragmentation	43,9	7,31	0,029 %
Consommation totale d'énergie électrique en France (en gWh)		148,000	

MINERAIS METALLIQUES EXPLOITES EN FRANCE

Tout-venant (tonnes) (estimation)	Produit marchand (tonnes)		Métal ou métalloïde contenu (tonnes)	
1 200 000 {	Galène	40 800	Plomb	30 000
	Blende	26 900	Zinc	15 000
			Argent	71
1 050 000		727 000	Uranium	1 300
Bauxite 3 183 000			Aluminium	375 000
	Cassitérite	469	Etain	350
			Manganèse	80
	Wolfram	136	Tungstène	74
	Pyrite (Cu + Ag + Au)	244 000	Or	2
			Soufre	43 000
			Cuivre	248
			Arsenic	
			Bismuth	87

L'estimation du métal contenu dans la bauxite porte sur la seule partie de la bauxite destinée à la métallurgie (à l'exclusion des applications en céramique, cimenterie, abrasifs, etc ...).

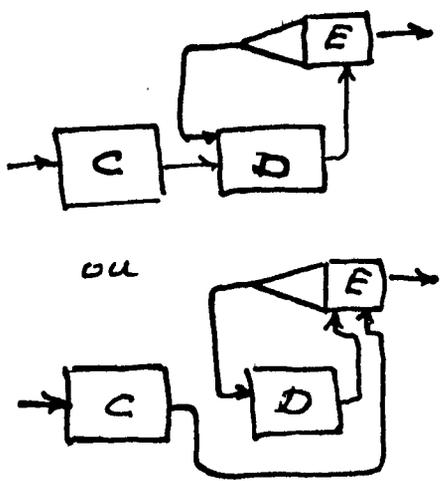
SOURCES DE L'INFORMATION :

- statistiques de l'Industrie Minérale (année 1971) pour les produits marchands, les métaux et métalloïdes contenus
- évaluation approximative pour le tonnage du tout-venant.

Flow sheet type: 1

Domaine d'application:

Plomb, Zinc, Argent, cuivre, Uranium

	Concassage primaire	Concassage secondaire	Broyage
		 <p>ou</p>	
	<p>(A) concasseur à mâchoires</p>	<p>(B) concasseur giratoire (C) concasseur (E) cribble</p>	<p>(C) Broyeur à harnes ou à boulets (D) Broyeur à boulets (E) classificateur { à râteau à vis cyclone</p>
consommation annuelle (GWh)	1, 9	3, 6	20, 9

5, 5

Flow sheet type 2

Domaine d'Application:

Bauxite

	Concassage primaire	Concassage secondaire	Broyage
	<p>ou</p>		<p>ou</p>
	<p>(A) Concasseur à mâchoires (A') Concasseur à deux cylindres dentés</p>	<p>(B) Concasseur à marteaux</p>	<p>(D) Broyeur à baux (E) cyclones</p>
consommation annuelle (GWh)	1, 4	7, 2	8, 9

8, 6



14 - MATERIAUX DE CONSTRUCTION

14 - MATERIAUX DE CONSTRUCTION

(Granulats)

OBJECTIF DE LA FRAGMENTATION

L'ensemble de la production des matériaux pour la construction et les travaux routiers se répartit en deux classes :

- les gisements d'alluvions,
- les carrières de roche.

La commercialisation peut s'effectuer sous différentes formes :

- matériaux tout-venant,
- matériaux classés,
- matériaux vendus en fuseaux reconstitués.

Compte tenu de leur prix peu élevé et par suite de l'incidence des frais de transport, il y a intérêt à extraire les matériaux de construction à une distance aussi réduite que possible de leur point d'utilisation.

Il est donc impératif d'adapter au maximum les produits extraits à la demande du marché local.

C'est cette adaptation qui constitue l'objectif essentiel de la fragmentation.

ALLUVIONS

D'une façon générale les produits d'alluvions sont d'autant plus fins que leur dépôt s'est effectué dans une partie de la vallée ou le courant est plus faible. On trouvera donc en général des produits grossiers dans les hautes vallées et des produits fins vers les estuaires.

Dans le premier cas on devra réduire la dimension d'une partie des matériaux extraits.

Dans le second cas on devra procéder par mélange avec des matériaux d'autres provenances.

Les matériaux d'alluvions sont généralement de qualité médiocre dans la fraction inférieure à 80 microns, (éléments argileux ou limoneux). Lorsque la spécification d'utilisation nécessite la présence de tels produits (fillers routiers) on devra éliminer cette fraction du matériau naturel et reconstituer la granulométrie par broyage de sable.

CARRIERES DE ROCHES

La granulométrie recherchée doit être obtenue à partir d'un tout-venant de carrière dont la dimension dépend du gisement et des méthodes d'abattage mais qui comporte généralement d'assez gros blocs.

METHODOLOGIE DE L'ENQUETE

Compte tenu du caractère très morcelé de la profession (plus de 3 000 exploitations en France) et des caractéristiques très diverses des marchés locaux, il était difficile de procéder par échantillonnage et études monographiques.

Nous avons préféré faire une évaluation globale de l'énergie dépensée en fragmentation à partir :

- de la courbe granulométrique moyenne des produits commercialisés en France ;
- d'une estimation de la granulométrie des produits de départ ;
- d'une évaluation théorique de l'énergie nécessaires à la transformation de granulométrie moyenne constatée, appuyée sur une documentation des constructeurs.

RESULTATS

Matériaux d'alluvions

Tonnage total de matière commercialisée (millions de tonnes)	213		
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	total France en gWh (millions en kWh)	en kWh par tonne de matière commercialisée	en % de la consommation française d'énergie électrique
Concassage	80	0,375	0,054
Broyage			
Total fragmentation			
Consommation totale d'énergie électrique en France (en gWh)		148 000	

Matériaux concassés de carrière et laitier

Tonnage total de matière commercialisée (millions de tonnes)	100		
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	total France en gWh (millions en kWh)	en kWh par tonne de matière commercialisée	en % de la consommation française d'énergie électrique
Concassage	108	1,08	0,073
Broyage			
Total fragmentation			
Consommation totale d'énergie électrique en France (en gWh)		148 000	

ENERGIE CONSOMMEE EN OPERATION DE FRAGMENTATION
DANS L'EXPLOITATION DES MATERIAUX
(carrières et sablières)

Les principales difficultés que l'on rencontre dans cette estimation proviennent du très grand morcellement de la profession et de la diversité des gisements.

Nous avons donc cherché à travailler sur des données moyennes. Une partie des éléments nous a été fournie par la statistique annuelle de l'UNICEM (1972).

L'ensemble de la production des matériaux se répartit entre :

- les carrières de roches (matériaux concassés de carrières),
- les gisements d'alluvions (sablières et ballastières).

Un appoint de production est apporté par le concassage de déchets de l'industrie sidérurgique (laitier). Le laitier concassé ne représente en fait qu'un faible pourcentage de la production globale (moins de 2 %). On pourra donc se contenter de grouper ce type de matériau avec les produits concassés de carrières.

Il y a de nombreuses variantes de commercialisation qui se rattachent à trois principales :

- matériaux vendus en tout-venant,
- matériaux classés :

sable	0,1 / 6,3 mm
gravillons	6,3 / 25 mm
cailloux	> 25 mm
- matériaux vendus en fuseaux reconstitués par mélange de produits classés.

Les tableaux des pages 61 - 62 ont été établis à partir de la production 1972.

Nous avons isolé en tête des tableaux les matériaux dont les granulométries étaient bien définies, ce qui nous a permis de tracer (page 63 les courbes granulométriques moyennes de cette partie des matériaux vendus en France.

L'établissement de ces courbes n'a pas tenu compte des matériaux constituant les différents postes figurant à la partie inférieure des tableaux et notamment :

- tout-venant, enrochements, blocages,
- fillers routiers,
- fuseaux reconstitués.

Nous remarquerons tout d'abord :

- que les matériaux du type tout-venant ne consomment pratiquement pas d'énergie de fragmentation ;
- les fillers routiers sont produits en quantité relativement faible ;
- les fuseaux reconstitués représentent par contre une proportion non négligeable de l'ensemble des produits classés,

18 630 000 t sur 76 000 000 t soit 24 % (carrière)
10 570 000 t sur 161 000 000 t soit 6 % (alluvions),

faute d'information particulière sur ces produits, nous supposerons la courbe moyenne de leur répartition granulométrique analogue à celle de l'ensemble des autres produits classés. Il ne s'agit là, bien sûr, que d'une approximation.

Compte tenu de ces remarques, on voit sur les courbes de la page 63 :

- que le d80 des matériaux classés vendus en France se situe :
 - . aux environs de 27 millimètres pour les concassés de carrières,
 - . aux environs de 17 millimètres pour les matériaux d'alluvions ;

- que la pente moyenne des courbes granulométriques en diagramme bilogarithmique n'est pas très éloigné de $1/\sqrt{2} = 0,707$ qui est la condition de validité de la méthode de calcul de Bond (work index). On pourra donc se référer éventuellement à cette méthode d'évaluation en remarquant cependant que son domaine de meilleure application se situe généralement vers les produits plus fins.

Les tableaux des pages 64 à 67 récapitulent les performances de divers types de matériel établies à partir de documentations de constructeurs.

Ces tableaux donnent l'énergie électrique consommée à la tonne pour amener un produit de dureté moyenne à certains points de consigne de granulométrie. Cette énergie dépend en fait de la dimension de départ qui n'a pas toujours pu être établie de façon précise.

Deux types principaux de schéma ont été analysés :

- la fragmentation en un seul étage par des concasseurs du type à marteaux ;
- la fragmentation en deux étages dans laquelle :
 - . le premier étage est réalisé par concasseur à mâchoires ou giratoire
 - . le deuxième étage par giratoire.

Les résultats relatifs au premier étage sont assez groupés. Ils conduisent à une énergie de fragmentation de l'ordre de 0,2 kWh/t pour le giratoire et 0,3 kWh/t pour le concasseur à mâchoires. C'est cette dernière valeur qui sera retenue parce que correspondant au type de matériel le plus répandu. Cette valeur moyenne de 0,3 kWh/t a été ajoutée à l'énergie de fragmentation du deuxième étage pour les différents modèles de matériels considérés.

On détermine ainsi l'énergie totale nécessaire pour l'ensemble des deux étages.

Les résultats sont repris sur le graphique de la page 68 sur lequel a été superposé un faisceau de Bond.

La dispersion des résultats est assez importantes, ce qui semble assez normal compte tenu des origines disparates des informations.

Il apparaît cependant que la fragmentation en un seul étage par broyeur à marteaux consomme nettement plus d'énergie que l'opération en deux étages. Pour obtenir une valeur moyenne pondérée il faudrait connaître le pourcentage de tonnage traité par les deux méthodes. Faute de cette information nous avons tracé la droite intermédiaire MM'. Selon cette droite les quantités d'énergie nécessaires pour amener le produit à un d80 égal à 17 mm et 27 mm sont respectivement 1,8 kWh/t et 1,35 kWh/t.

Nous essayerons sur cette base d'estimer l'énergie de fragmentation des différents produits :

- matériaux concassés de carrière :
l'énergie dépensée apparaît de l'ordre de 1,35 kWh/t ;
- matériaux d'alluvions :
l'estimation est plus difficile car on doit faire des hypothèses sur le d80 moyen de l'ensemble du tout-venant exploité en France.

L'énergie liée à un d80 de produit fini égal à 17 mm est de 1,8 kWh/t.

L'énergie fournie par l'érosion, évaluée par la même méthode, est :

1 kWh/t	pour	amener	le	produit	à	un	d80	de	50	mm
1,1 kWh/t	"	"	"	"	"	"	"	"	40	mm
1,3 kWh/t	"	"	"	"	"	"	"	"	30	mm.

A ces trois chiffres correspondent des énergies de fragmentation mécanique respectivement égales à 0,8 0,7 et 0,5 kWh/t. Nous retiendrons ce dernier chiffre qui apparaît comme le plus vraisemblable.

Ces différentes considérations conduisent à l'estimation suivante.

Matériaux concassés de carrières et laitier.

Le concassage porte sur 76 millions de tonnes pour les produits carrières et 4 millions pour le laitier, soit 80 millions au total.

Sur la base de 1,35 kWh/t cela conduit à une consommation totale d'énergie électrique de 108 millions de kWh.

Matériaux d'alluvions.

Le concassage porte sur 161 millions de tonnes à 0,5 kWh/t, soit un total de 80 millions de kWh.

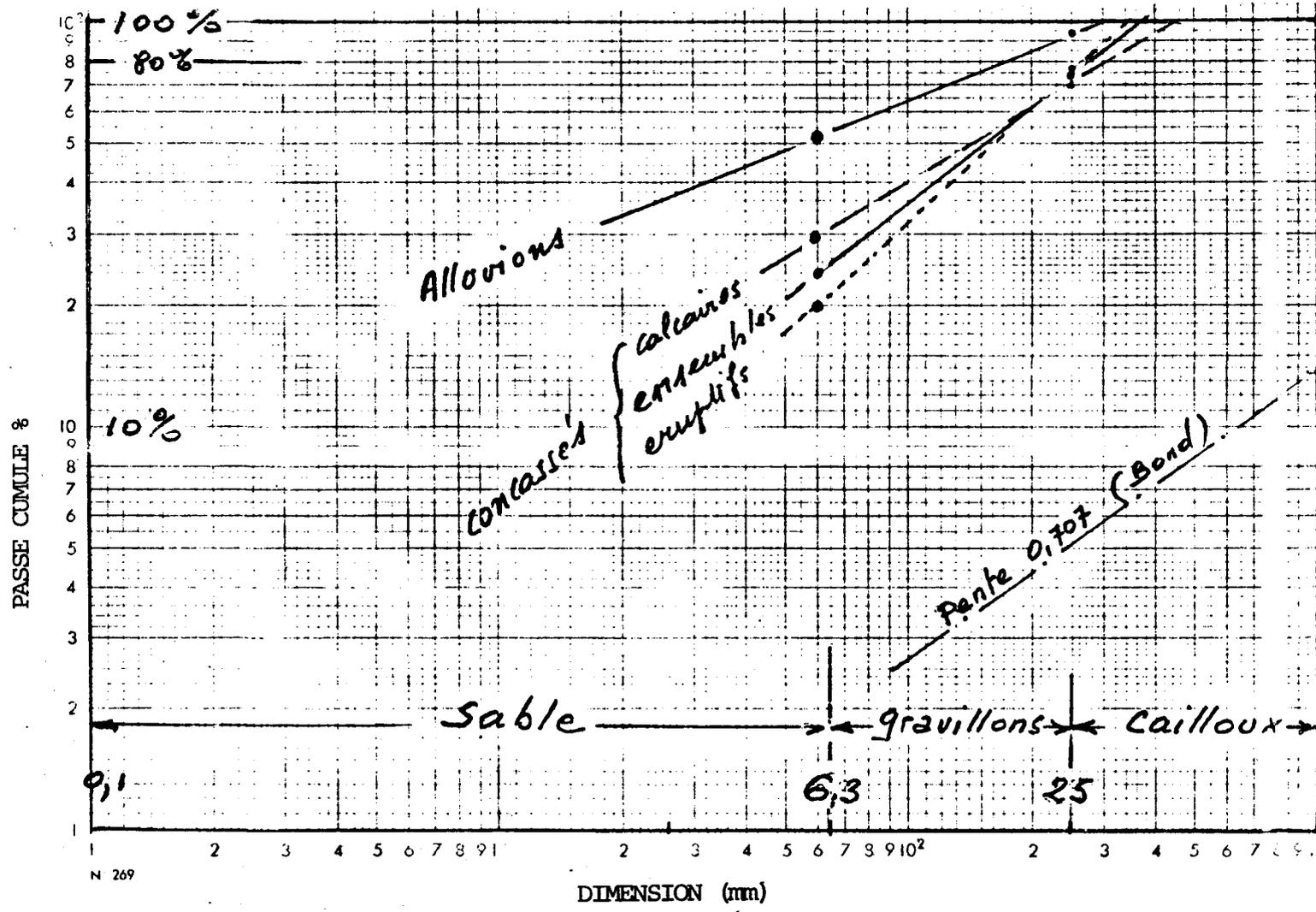
La validité de ces estimations est liée à celle des hypothèses qui ont servi de base au calcul.

Il est clair notamment que la granulométrie moyenne de l'ensemble des gisements alluvionnaires français en exploitation ne pourrait être confirmée que par un inventaire systématique qui n'a pas été fait alors que la consommation d'énergie de fragmentation passe presque du simple au double suivant que l'on estime le d80 moyen à 30 mm ou à 50 mm.

	Ensemble des matériaux			Calcaires			Eruptifs			Laitier
	tonnes x 10 ³	% fraction	% passant cumulé	tonnes x 10 ³	% fraction	% passant cumulé	tonnes x 10 ³	% fraction	% passant cumulé	tonnes x 10 ³
Macadam (25/100)	8.790	15,30	100	3.870	19,45	100	4.740	13,22	100	180
Ballast (25/50)	5.490	9,55		1.590	7,99		3.780	10,54		120
Gravillons (6,3/25)	29.530	51,40	75,13	8.450	42,48	72,54	20.090	56,02	76,23	990
Sable de concassage (0,1/6,3)	13.640	23,73	23,73	5.980	30,06	30,06	7.250	20,21	20,21	410
TOTAL	57.450			19.890			35.860			1.601
Fuseaux reconstitués et granulats o/D	18.630			5.910			10.110			2.610
Fillers routiers	*			66			*			
Divers	*			1.430			*			*
Tout-venant	11.390			4.620			5.860			910
Enrochements	2.350			1.740			610			
Blocages et cales	*			910			1.280			*
Laitier granulé	*									*
Total des postes identifiés	89.820			34.566			53.720			5.121
Total des postes couverts par le secret statistique *	4.860						689			584
Total général (y compris secret statistique)*	94.680			34.566			54.409			5.705

MATERIAUX CONCASSES (année 1972)

Sables et graviers d'alluvions (1972)			
	tonnes x 10 ³	% fraction	% passant cumulé
cailloux (25/100)	9 430	6,25	100
gravillons (6,3/25)	61 410	40,71	93,74
sable (0,1/6,3)	79 990	53,03	53,03
TOTAL	150 830		
graves reconstituées (0/D)	10 570		
fines, farines, fillers	450		
divers	1 300		
tout-venant	38 430		
graves calibrées (tout-venant scalpé)	11 790		
TOTAL	213 370		



Référence	Puissance du moteur			Débit (T/h)			Alimentation		Sortie			Consommation spécifique (kWh/t)			
	mini	moyen	maxi	mini	moyen	maxi	ouverture	dimension	ouverture	dimension	d80	primaire	secondaire	total	
D	1	75	82	90	270	300	330					d88=200 m d80=170	0,29		
	2	110	121	132	330	352	375					170	0,34		
	3	160	180	200	390	420	450					170	0,43		
E	1	80	90	100	225	255	285	1500x1100	1400x1000	200		200	0,35		
	2	95	112	130	330	390	450	18000x1400	1700x1300	250		250	0,29		
	3	150	175	200	480	570	660	2250x1600	2100x1500	250		250	0,31		
	4	185	202	220	525	675	285	2500x1600	2400x1500	250		250	0,30		
F	1	73	80	88		330				250		250	0,24		
	2	96	103	110		375				250		250	0,27		
	3	125	136	147		450				250		250	0,30		
G	1	150	165	180		900		1000		200		200	0,18		
H	1		440		2000	2500	3000	1850x5800		220		220	0,17		
	2		511		3000	3500	4000	2150x6400		250		250	0,14		

Concassage en 2 étages
 Etage primaire : par concasseur à mâchoires D, E, F
 par giratoire G, H.

Référence	Puissance du moteur			Débit (T/h)			Alimentation		Sortie			Consommation spécifique (kWh/t)		
	mini	moyen	maxi	mini	moyen	maxi	ouverture	dimension	ouverture	dimension	d80	primaire	secondaire	total
A	1	90	100	110	175	262	350	1100x900		200		0,38		
	2	95	110	125	230	340	450	1250x1000		200		0,33		
	3	115	130	145	300	450	600	1400x900		200		0,29		
B	1		100		200	300	400	1250x900		200		0,33		
C	1	100	105	110	225	262	300	1600x90		200		0,40		
	2	110	120	130	285	330	375	2000x900		200		0,36		
	3	100	117	125	285	262	300	1600x1000		200		0,40		
	4	110	117	125	285	330	375	2000x1000		200		0,35		

Concassage en 2 étages
Etage primaire par concasseur à mâchoires

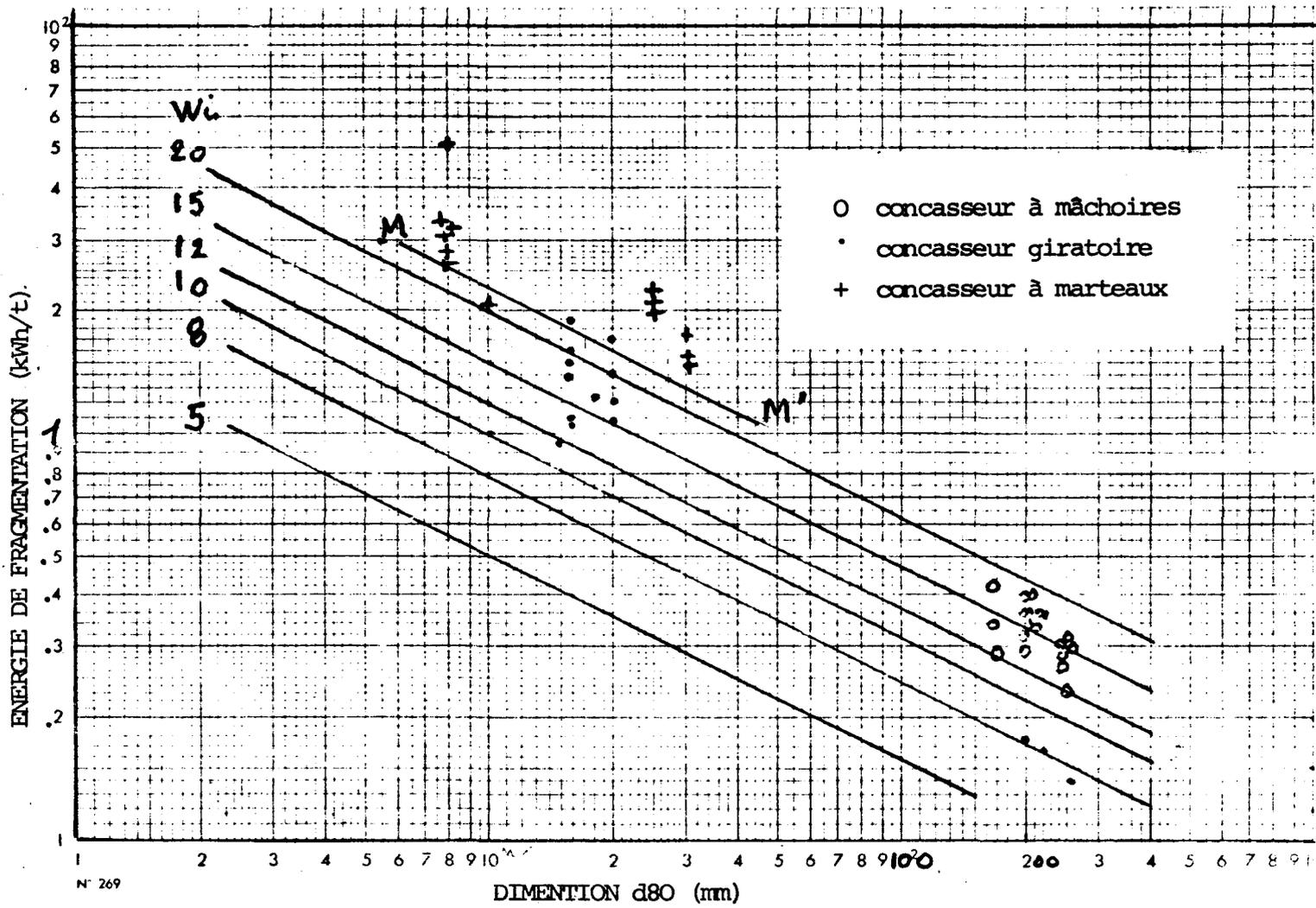
Référence	Puissance du moteur			Débit (T/h)			Alimentation		Sortie			Consommation spécifique (kWh/t)			
	mini	moyen	maxi	mini	moyen	maxi	ouverture	dimension	ouverture	dimension	d80	primaire	secondaire	total	
I	1	20	105	120	120	160	200			0/18	15	0,30	0,66	0,96	
	2	90	105	120	110	130	150	200		0/20	16	0,30	0,81	1,11	
	3	30	155	180	170	210	250	235		0/20	16	0,30	0,74	1,04	
J	1		90		75	80	85		20/120	18	0/30	20	0,30	1,12	1,42
	2		132		135	140	145		30/100	18	0/30	18	0,30	0,94	1,24
K	1		30			27				16		20	0,30	1,11	1,41
	2		75			54				16		20	0,30	1,39	1,69
	3		90			100				16		20	0,30	0,90	1,20
L	1		29		24	26	28	110		12	0/23	16	0,30	1,11	1,41
	2		73		40	44	48	133		12	0/23	16	0,30	1,66	1,96
	3		91		110	117	135	190		19	0/30	20	0,30	0,77	1,07
	4	110	128	146	90	96	102	102		12	0/20	16	0,30	1,33	1,63
	5	182	200	218	165	167	170	146		12	0/20	16	0,30	1,20	1,50

Concassage en 2 étages ; étage secondaire par giratoire (la consommation spécifique primaire de 0,3 kWh/t est une valeur moyenne estimée à partir des tableaux 50 et 51).

Référence	Puissance du moteur			Débit (T/h)			Alimentation		Sortie			Consommation spécifique (kWh/t)		
	mini	moyen	maxi	mini	moyen	maxi	ouverture	dimension	ouverture	dimension	d80	primaire	secondaire	total
M	1	600	680	760	250	325	400	1000x1600			25			2,09
	2	640	980	1120	350	475	600	1300x1680			25			2,06
	3	1120	1260	1400	450	575	700	1300x2000			25			2,19
	4	1600	1850	2100	600	850	1100	1700x2000			25			2,17
	5	2100	2350	2600	800	1050	1300	1700x2700			25			2,23
N	1	438	547	657	250	350	450	1500		36	30			1,56
	2	730	949	1168	450	625	800	2000		36				1,51
	3	1606	1806	2007	800	1025	1250	2000		36				1,76
O	1	90	100	110	25	32	40	820x 400			0/10	8		3,12
	2	180	200	220	55	77	100	1630x4000			0/10	8		2,59
	3	220	260	300	70	95	120	1530x 600			0/10	8		2,73
	4	330	385	440	100	125	150	1530x 700			0/10	8		3,08
	5	660	770	880	180	225	270	2740x7000			0/10	8		3,42
	6	1100	1300	1500	200	240	280				0/10	8		5,4
P	1										10			2,1

67

Concassage en 1 étage par concasseur à marteaux



15 - MINERAUX DIVERS



15 - MINÉRAUX DIVERS

OBJECTIF DE LA FRAGMENTATION.

Le répertoire INSE classe dans cette rubrique différentes substances dont :

les sels de potasse, le chlorure de sodium, les phosphates de chaux et divers produits minéraux (amiante, barytine, spath fluor, etc...)

livrés comme matière première aux industries de transformation et de conditionnement.

Les sels de potasse et la fluorine sont parmi les produits du sous-sol français de ce groupe les plus gros consommateurs d'énergie de fragmentation.

La potasse est souvent préparée par dissolution et recristallisation. Une division des M.D.P.A. est cependant équipée d'un atelier de valorisation mécanique et nécessite de ce fait une énergie de fragmentation importante.

Il en est de même de la fluorine qui est généralement concentrée dans des ateliers de préparation mécanique.

L'objectif de la fragmentation est donc comme dans le cas des minerais métalliques, la libération du produit de valeur.

METHODOLOGIE DE L'ENQUETE.

Pour la potasse dont la valorisation mécanique est concentrée à la division Thodore des M.D.P.A. l'évaluation directe de l'énergie de fragmentation a pu être faite à partir de la monographie de l'atelier de valorisation.

La production de la fluorine par contre est beaucoup plus morcelée. L'estimation a été faite par extrapolation à la production française des données obtenues sur les exploitations pour lesquelles des informations sont publiées.

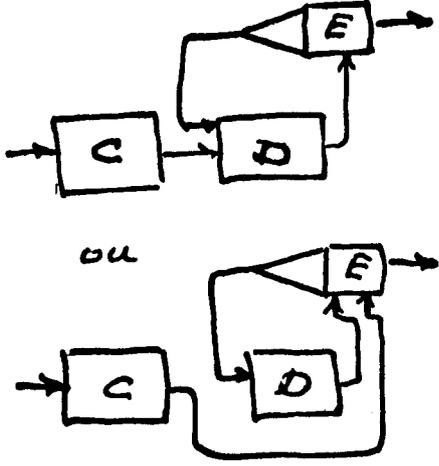
Nous n'avons pas pris en compte dans cette rubrique les fragmentations liées à la commercialisation du produit qui sont plus logiquement rattachées à l'industrie chimique (35) et (36) (par exemple : engrais, talc broyé, charges diverses).

RESULTATS.

Tonnage total de matière commercialisée (millions de tonnes)			
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	total France en GWh (millions en kWh)	en kWh par tonne de matière commercialisée	en % de la consommation française d'énergie électrique
Concassage	4,9		0,003 %
Broyage	17,3		0,012 %
Total fragmentation	22,2		0,015 %
Consommation totale d'énergie électrique en France (en GWh)		148 000	

Flow sheet type: 1

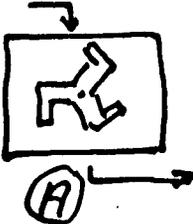
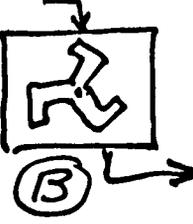
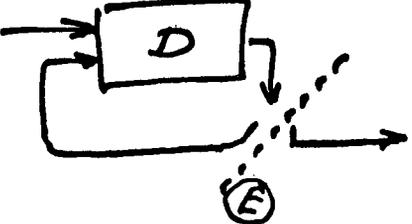
Domaine d'application: fluorine

Concassage primaire	Concassage secondaire	Broyage
 <p>(A) concasseur à mâchoires</p>	 <p>ou</p> <p>(B) concasseur giratoire</p> <p>(E) crible</p>	 <p>ou</p> <p>(C) Broyeur à harnes ou à boulets</p> <p>(D) Broyeur à boulets</p> <p>(E) classificateur { à râteau à vis cyclone</p>
<p>consommation annuelle (GWh)</p> <p>0,9</p>	<p>1,8</p>	<p>7,6</p>

2,7

Flow sheet type 3

Domaine d'application : potasse

	Concassage primaire	Concassage secondaire	Broyage
			
	(A) Concasseur à marteaux	(B) Concasseur à marteaux	(D) Broyeur à barres (E) Tamis vibrant
consommation annuelle (GWh)	1, 1	1, 1	9, 7
	2, 2		

16 - SIDERURGIE

16 - SIDERURGIEOBJECTIF DE LA FRAGMENTATION.

Le processus sidérurgique se situe en aval de la mine de fer.
Il comprend essentiellement : l'agglomération, le haut-fourneau, l'aciérie.

Les opérations de fragmentation en sidérurgie interviennent :

- dans la préparation des matières
(minerai de fer, coke, castine, chaux) ;
- dans la valorisation des sous-produits
(laitiers et scories).

METHODOLOGIE DE L'ENQUETE.

Le diagramme des opérations de fragmentation liées à la sidérurgie figure page 81 . L'évaluation de l'énergie de concassage du minerai de fer a déjà été faite (fascicule 12) et conduit à 67 GWh.

Il reste à évaluer.

Pour l'agglomération :

- le combustible (coke ou charbon) : 3 000 000 t
- la castine : 1 224 000 t.

Pour le haut-fourneau :

- le coke : 10 902 000 t
- la castine : 156 000 t.

Pour l'aciérie :

- la castine : 239 000 t
- la chaux : 2 047 000 t.

La valorisation des sous-produits conduit à fragmenter :

- 5 475 000 t de laitiers (inclus dans d'évaluation du fascicule 14 relatif aux matériaux) ;
- 2 835 000 t de scories Thomas.

RESULTATS.

Tonnage total de matière commercialisée (millions de tonnes)			
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	total France en GWh (millions en kWh)	en kWh par tonne de matière commercialisée	en % de la consommation française d'énergie électrique
Concassage	71		0,048 %
Broyage	14		0,009 %
Total fragmentation	85		0,057 %
Consommation totale d'énergie électrique en France (en GWh)		148 000	

AGGLOMERATION.

En dehors du minerai de fer dont l'énergie de fragmentation a déjà été inventoriée, l'opération concerne globalement 3 000 000 t de combustible (charbon ou coke) et 1 224 000 t de castine.

Combustible.

La moitié environ provient de fines de criblage livrées par les mines de charbon sans opération de fragmentation volontaire.

L'autre moitié, soit environ 1 500 000 t de coke provient de déclassés du coke 20/80 destiné au haut-fourneau.

Une fragmentation complémentaire est nécessaire pour l'amener de 0/20 à 0/3 mm (environ 1 kWh/t) soit une énergie totale de concassage de : 1 500 000 kWh = 1,5 GWh.

Castine.

La castine est amenée à une dimension sensiblement analogue : 0/3 mm.

L'énergie de fragmentation peu parvenir à cette dimension est de l'ordre de 2 kWh pour l'ensemble du traitement à partir de l'exploitation minière.

Il en résulte pour les 1 200 000 t de castine une consommation globale d'énergie de concassage de 2 400 000 kWh, soit 2,4 GWh.

Haut fourneau.

En plus du minerai de fer dont la fragmentation a déjà été estimée, la principale dépense d'énergie concerne le coke :

10 000 000 t à 0,3 kWh/t = 3 000 000 kWh soit 3 GWh.

Aciérie.

La préparation des matières entrant en fabrication consomme peu d'énergie à ce stade par contre la valorisation des scories Thomas utilisées comme engrais représente une dépense assez importante.

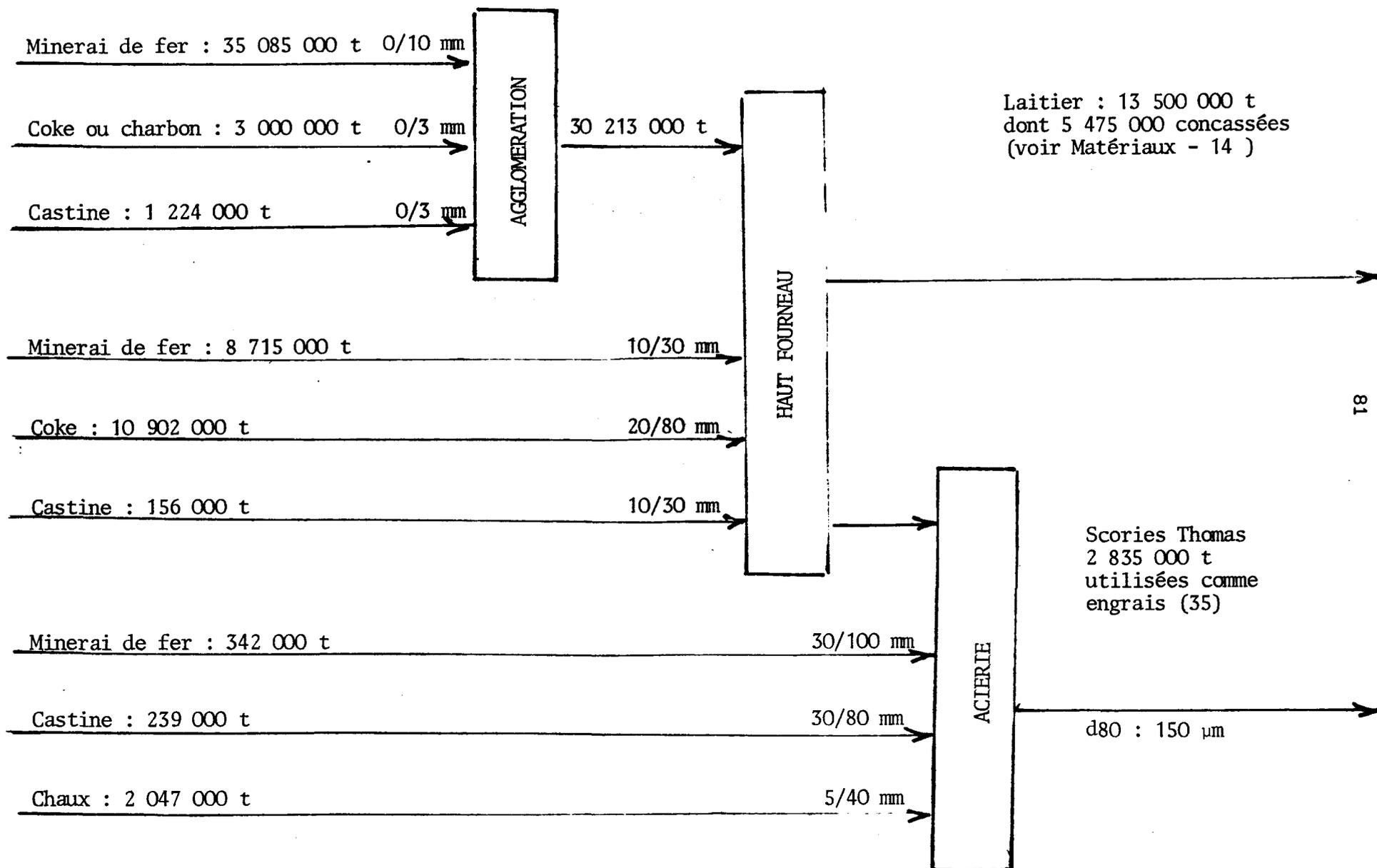
Le produit est amené à une dimension (d80) de l'ordre de 150 µm. Sur la base d'estimation de 5 kWh/t les 2 835 000 t traitées conduisent à une consommation d'énergie de 14 000 000 kWh soit 14 GWh.

L'énergie dépensée en fragmentation en sidérurgie a été récapitulée dans le tableau ci-dessous (en GWh).

	Concassage	Broyage
Minerai de fer	67	
Coke	4,5	
Castine	2,4	
Scories Thomas		14
TOTAL	70,9	14

TABLEAU DES MATIERES DE L'INDUSTRIE SIDERURGIQUE DONNANT LIEU A FRAGMENTATION

(Année 1971)



31 - INDUSTRIE CERAMIQUE

31 - INDUSTRIE CERAMIQUE

OBJECTIF DE LA FRAGMENTATION

La plus grande partie de la production est faite à partir d'argiles auxquelles est éventuellement mélangé un certain pourcentage de sable (jusqu'à 30 %), mais des schistes plus ou moins argileux peuvent dans certains cas être également utilisés.

Dans le cas des argiles, l'objectif principal de la préparation est d'éviter la présence de grains d'une roche étrangère d'une dimension supérieure à quelques dixièmes de millimètres, (carbonates divers, pyrite, oxyde de fer, etc ...)

La dimension maximale admissible des grains étrangers dépend du produit à fabriquer, plus fin pour les tuiles : 200 μm à 400 μm , plus grossier pour les briques 400 μm à 800 μm .

Dans le cas des schistes, c'est l'ensemble de la matière traitée qui devra être ramenée en dessous de cette dimension de consigne.

En fait pour la plus grande partie de la matière traitée (l'argile humide) il est difficile de préciser quelle est dans la préparation de la pâte la partie de l'énergie que l'on doit attribuer à la fragmentation au sens habituel du terme.

*
C'est en effet souvent les mêmes machines qui assurent des fonctions multiples (écrasement, laminage, mélange, etc.).

Nous avons adopté le parti de considérer comme fragmentation la totalité du poste en notant le caractère très spécial que cette opération présente dans la profession.

METHODOLOGIE DE L'ENQUETE

Nous avons utilisé comme élément d'estimation :

- la statistique de l'I.M. (71) pour le tonnage de produits fabriqués (page 91)
- les informations recueillies auprès du centre technique des tuiles et briques pour les consommations d'énergie spécifiques.

Nous avons fait l'extrapolation des résultats relatifs aux tuiles et briques à l'ensemble des produits de l'industrie céramique :

tuiles et briques : 7,8 Mt

ensemble de l'industrie céramique : 9,9 Mt

le coefficient d'extrapolation apparaît donc de l'ordre de : 1,27.

RESULTATS

Tonnage total de matière commercialisée (millions de tonnes)	9,9		
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	total France en GWh (millions en kWh)	en kWh par tonne de matière commer- cialisée	en % de la consommation française d'énergie électrique
Concassage			
Broyage			
Total fragmentation	129	13	0,087 %
Consommation totale d'énergie électrique en France (en gWh)		 148 000	

31 - INDUSTRIE CERAMIQUE

L'industrie céramique assure une production annuelle de près de 10 millions de tonnes (1971) dont la majeure partie est constituée par la fabrication des tuiles et briques (8,5 millions de tonnes). C'est sur ces fabrications que nous conduirons notre étude.

Il s'agit de produits dont le prix est peu élevé et qui de ce fait ne peuvent pas supporter des charges importantes de transport. On doit donc utiliser le plus possible les matières premières locales. Il y a de ce fait une grande dispersion des caractéristiques des matières de base auxquelles doit s'adapter l'atelier de préparation.

La plus grande partie de la production est faite à partir d'argiles auxquelles est éventuellement mélangé un certain pourcentage de sable (jusqu'à 30 %), mais des schistes plus ou moins argileux peuvent dans certains cas être également utilisés.

Dans le cas des argiles, l'objectif principal de la préparation est d'éviter la présence de grains d'une roche étrangère d'une dimension supérieure à quelques dixièmes de millimètres, (carbonates divers, pyrite, oxyde de fer, etc ...)

La dimension maximale admissible des grains étrangers dépend du produit à fabriquer :

- plus fins pour les tuiles : 200 μ m à 400 μ m
- plus grossier pour les briques : 400 μ m à 800 μ m

Dans le cas des schistes, c'est l'ensemble de la matière traitée qui devra être ramenée en dessous de cette dimension de consigne.

Le Rhéogramme de l'atelier de préparation peut varier de façon importante suivant le degré d'humidité du tout-venant fourni par la carrière (pages 92 et 93).

Les argiles exploitées en France contiennent généralement au départ entre 15 % et 25 % d'eau.

Cette matière doit être amenée à constituer au moment du formage, une pâte homogène et plastique correspondant à un pourcentage optimal d'humidité de 22 % à 26 %.

La façon d'extraire la matière a également une influence sur le traitement ultérieur. L'extracteur à godets tend à être moins employé maintenant que la pelle (mécanique ou hydraulique) et le scraper.

Si la matière livrée par la carrière se présente sous forme de très gros blocs on doit procéder à un débitage préliminaire. Cette nécessité est assez exceptionnelle. D'une façon générale, on rencontrera :

- à l'étage primaire des extracteurs piocheurs et des brise-mottes.
- à l'étage secondaire des broyeurs à meules à piste tamisante (type chilien)
- à l'étage tertiaire un ou plusieurs broyeurs à cylindres lisses.

On rencontrera parfois à l'étage secondaire des broyeurs de types divers notamment des broyeurs à marteaux ou centrifuges à disque pour traiter les schistes ainsi que les débris secs ou cuits de toute sorte de matières (degré d'humidité < 12 %).

CONSOMMATION D'ENERGIE ELECTRIQUE

La consommation d'énergie électrique se répartit entre les différents stades de la fabrication, à savoir :

- la préparation de la pâte,
- le façonnage,
- le séchage,
- la cuisson.

PREPARATION DE LA PÂTE

Le processus varie essentiellement suivant :

- la nature de la matière locale de base,
- le produit à fabriquer.

En règle générale on utilise des matières plus maigres (contenant davantage de sable) pour les briques pleines que pour les briques creuses et les tuiles. Les principales fonctions que l'on assigne à cette section sont la fragmentation, l'élimination des impuretés (ou leur broyage), le mouillage, le mélange.

FAÇONNAGE

Cette opération comprend essentiellement le passage dans une étireuse. Pour les tuiles on doit compléter par un pressage la mise en forme des plaques qui proviennent de l'étireuse.

SECHAGE ET CUISSON

L'énergie des opérations thermiques proprement dites provient essentiellement du fuel, mais la circulation de l'air de transfert de la chaleur nécessite une énergie électrique de ventilation importante.

La consommation d'énergie électrique pour l'ensemble de ces postes s'établit à une valeur moyenne de 46 Kwh par tonne de produits vendus.

Si on voulait la rapporter à la matière première, on devrait tenir compte d'un coefficient de 1/1,4 pour tenir compte de l'élimination des impuretés, de la perte au feu et des déchets intervenant à différents étages de la fabrication. Ce chiffre moyen correspond à peu près aux briques creuses. Il doit être majoré pour les tuiles, minoré pour les briques pleines.

La répartition de l'énergie électrique dépensée en dehors des sections de séchage et de cuisson apparaît comme suit :

	préparation de la pâte	façonnage	Total
	Kwh/t	Kwh/t	Kwh/t
briques pleines	10	5	15
briques creuses	13	7	20
tuiles	13 à 18	7 à 10	20 à 28

L'énergie consommée en fragmentation se situe au niveau de la préparation de la pâte.

Pour la partie la plus importante de la matière traitée (l'argile humide) il est difficile de préciser dans la préparation de la pâte ce que l'on peut appeler effectivement fragmentation au sens habituel du terme ; une même machine assurant généralement plusieurs fonctions (écrasement, laminage, mélange, etc.).

Nous avons pris le parti de considérer comme fragmentation la totalité du poste en notant le caractère très spécial que cette opération présente dans la profession.

Sous cette réserve nous pourrions estimer la consommation d'énergie de préparation de la pâte aux valeurs moyennes suivantes :

- 12 Kwh/t pour les briques (pleines ou creuses)
- 15 Kwh/t pour les tuiles.

Nous adopterons également la valeur moyenne de 15 Kwh/t pour l'ensemble des autres sections de l'industrie Céramique.

C'est sur ces bases qu'à été établi le tableau suivant :

	Consommation spécifique	Production	Consommation d'électricité de fragmentation
	(Kwh/t)	(en Mt)	(GWh)
briques	12	6,2	74
tuiles	15	1,4	21
autres	15	2,3	34
		9,9	129

Année 1971FABRICATION DES PRODUITS CERAMIQUES (Tonnes)

<u>Céramique pour bâtiment</u>			9. 167.556
<u>Produits en terre cuite pour Bâtiment</u>		8.587.582	
briques	:	6.217.167	
tuiles	:	1.433.657	
carreaux	:	81.222	
divers	:	855.536	
<u>Céramique sanitaire</u>		251.455	
porcelaine	:	44.204	
grès	:	204.732	
faïence			
et autres	:	2.519	
<u>Carreaux autres qu'en terre cuite</u>		306.392	
faïence	:	68.241	
grès	:	233.086	
autres	:	5.065	
<u>Tuyaux</u>		22.127	
terre cuite	:	16.151	
grès	:	5.526	
autres	:	450	
<u>Céramiques d'industrie</u>			612.267
<u>Produits réfractaires façonnés</u>		555.842	
silico-alumineux	:	438.609	
siliceux	:	34.832	
basiques	:	17.888	
autres	:	64.513	
<u>Produits réfractaires non façonnés (mortiers)</u>		56.425	
		56.425	
<u>Céramique de ménage et autre</u>	:	117.677	117.677
			<hr/>
			9. 897.500

Section de dégrossissage

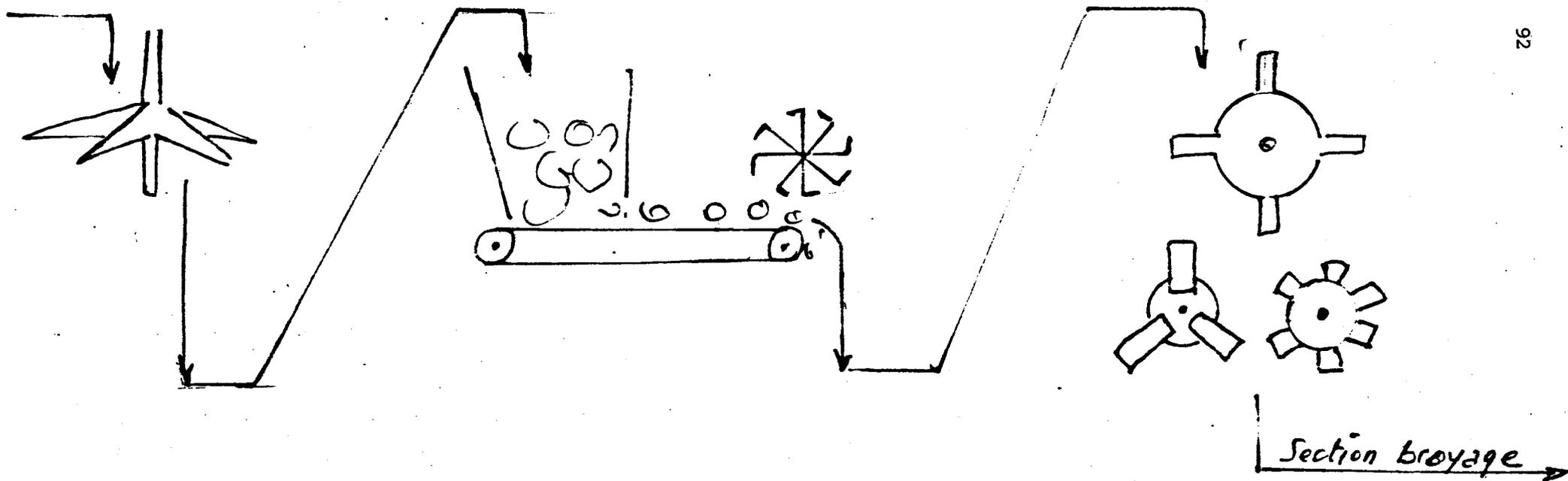
Débitage préliminaire
(en cas de gros blocs)

étage primaire

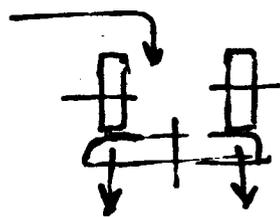
Débiteur d'entrée

extracteur pirocheur

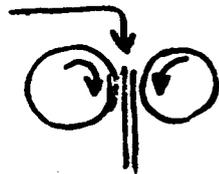
Bruse-mottes



Section de Broyage



Broyeur à meules
(type chilien)
à forte
tausante



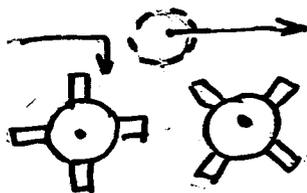
Broyeur à
cylindres
lisses



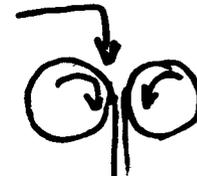
Broyeur centrifuge
à disque



Broyeur à marteaux
à grille



Broyeur à marteaux
à rotor
classificateur.



Broyeur à
cylindres
lisses
(1 ou 2 étages)

matières
humides

matières
semi-humides

matières
sèches

32 - MATERIAUX DE CONSTRUCTION : CIMENTS ET CHAUX



32 - MATERIAUX DE CONSTRUCTION : CIMENTS ET CHAUX

OBJECTIF DE LA FRAGMENTATION

La nécessité de fragmenter apparaît en cimenterie à deux étages de la fabrication.

1. Préparation du cru

Il s'agit ici d'amener les produits extraits de la carrière à une dimension suffisamment petite pour permettre la clinkerisation au four rotatif pendant la durée du trajet des particules dans ce four.

2. Broyage du clinker

Le broyage du clinker et des additifs conduit au produit commercial : le ciment. La finesse a essentiellement pour objet la rapidité de la prise et les caractéristiques mécaniques du béton. L'objectif de la fragmentation est généralement défini par la surface spécifique du produit. Il existe une certaine tendance actuellement à nuancer ce critère en considérant qu'à surface spécifique égale, les qualités du ciment ne sont pas indépendantes de sa courbe granulométrique.

METHODOLOGIE DE L'ENQUETE

L'industrie du ciment est très groupée et bien structurée par une chambre syndicale.

La plupart des informations ayant servi de base à notre évaluation proviennent de 2 sources :

- La Société des ciments LAFARGE, principal producteur français (LAFARGE + filiales + participations représentent 38 % de la production française) qui a pu nous fournir des renseignements assez précis sur l'incidence de la fragmentation sur la consommation d'énergie électrique de ses propres usines.
- La chambre syndicale des fabricants de ciments et chaux qui centralise des informations relatives à la totalité de la production française mais ne dispose pas d'une ventilation aussi poussée des postes de fabrication.

Nous avons pu vérifier que l'extrapolation à la production française de certains ratios établis par LAFARGE pour ses propres fabrications conduisait à une fourchette assez serrée d'estimation.

RESULTATS (année 1972)

Tonnage total de matière commercialisée (millions de tonnes)	30,1 Mt		
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	total France en gWh (millions en kWh)	en kWh par tonne de matière commercialisée	en % de la consommation française d'énergie électrique
Conçassage	90	3	0,061 %
Broyage	1 956	65	1,321 %
Total fragmentation	2 046	68	1,382 %
Consommation totale d'énergie électrique en France (en gWh)		148 000	

INFORMATIONS COMMUNIQUEES PAR
LA SOCIETE DES CIMENTS LAFARGE

Les statistiques relatives à la consommation d'énergie électrique sont établies par la Société des ciments Lafarge de façon à faire apparaître les informations suivantes :

1. En carrière : dépense totale d'énergie électrique à la tonne de matière extraite (non ventilé).
2. Au traitement du cru : dépense d'énergie électrique ventilée en 2 postes : broyage et cuisson
broyage : consommation à la tonne de matière cru
cuisson : à la tonne de clinker fabriqué.
3. A l'atelier de broyage du clinker et des produits d'addition : à la tonne de ciment (non ventilé).

Pour homogénéiser ces informations et les rapporter à la tonne de ciment produit, on doit tenir compte de certains coefficients.

Lafarge utilise les valeurs suivantes :

Cru → clinker

1 tonne de cru donne 0,64 tonne de clinker.

Clinker → ciment

Le clinker n'est pas broyé seul. On lui mélange des produits d'addition (gypse, laitier, etc ...) pour constituer le ciment commercialisé.

On compte en moyenne un coefficient multiplicateur égal à 1.215 pour passer de la production de clinker à celle du ciment.

Les données relatives à 1973 sont les suivantes :

1. En carrière :

3 kWh/t de calcaire extrait. Cette évaluation concerne essentiellement le concassage mais comporte d'autres postes dont on ne saurait négliger l'importance :

- compresseurs,
- pelles électriques pour certaines carrières,
- transporteurs.

2. Traitement du cru :

La consommation d'énergie électrique de fragmentation est d'environ 18 kWh/t par tonne de cru. Cette estimation constitue une moyenne entre la préparation par voie sèche, à peu près généralisée maintenant et la voie humide qui subsiste encore dans quelques usines.

3. Finition du ciment par broyage du clinker et des produits d'addition.

Cette opération consomme environ 39 kWh/t pour l'atelier de broyage et 3 kWh/t pour le stockage du ciment et l'expédition.

La consommation de l'atelier de broyage concerne également les appareils annexes : (séparateurs, élévateurs, pompes, etc...).

La récapitulation et l'interprétation de ces données est faite page 101.

EVOLUTION

La tendance est à utiliser des unités de broyage de plus en plus importantes (le dernier broyeur mis en service par Lafarge à l'usine du HAVRE-St VIGOR a une puissance nominale de 5 900 kW. Cette tendance améliore le prix de revient du ciment par réduction des dépenses de main d'oeuvre mais semble sans influence sur la consommation d'énergie spécifique de broyage.

Par contre le passage de la voie humide à la voie sèche diminue l'énergie totale de fabrication (fuel) mais augmente sensiblement le poste de broyage du cru. La consommation spécifique d'énergie de broyage aura donc plutôt tendance à augmenter en valeur moyenne au fur et à mesure de l'arrêt des chaînes de fabrication par voie humide et de leur remplacement par le processus par voie sèche.

CIMENTS LAFARGE

(année 1973)

Coefficient de transformation	Consommation d'énergie électrique en kWh ramenée à la tonne				
	de calcaire	de clinker	de ciment		
			Total	Fragmentation	Divers
calcaire → clinker	1/0,64				
clinker → ciment		1/1,21			
Poste 1 : carrière	3	4,7	3,9		
dont { concassage				2,9	
{ divers					1,0
Poste 2 : préparation du clinker			41,3		
dont { broyage du cru	18	28		23,1	
{ cuisson		22			18,2
Poste 3 : finition			42		
dont { broyage clinker et additifs				39	
{ stockage et expédition					3
Total des postes 1,2,3			87,2	65,0	22,2

SYNDICAT NATIONAL DES FABRICANTS DE CIMENTS ET CHAUX

Les informations communiquées par le Syndicat national des ciments et chaux sont analysées dans le tableau de la page 103 et celui de la page 104. Il a été tenu compte de l'énergie électrique correspondant à la préparation du clinker exporté.

Le coefficient de transformation clinker → ciment calculé pour l'ensemble de la production française conduit aux valeurs suivantes :

pour 1972 : 1,208
pour 1973 : 1,211

Ces chiffres diffèrent très sensiblement de l'estimation Lafarge (1,15) ce qui conduit à penser que le pourcentage d'additions dans le ciment estimé à 13 % pour Lafarge serait de 17 % pour l'ensemble de la profession.

Nous avons cherché à voir l'incidence de cette différence sur l'estimation de l'énergie de fragmentation.

C'est à cette fin qu'a été établi le tableau de la page 105. Nous avons supposé dans ce tableau que l'évaluation de la dépense d'énergie relative à l'exploitation en carrière et au traitement du cru était pour l'ensemble de la profession identique aux valeurs communiquées par Lafarge, la différence apparaissant seulement au niveau du broyage du clinker et des additifs. On a les résultats suivants :

	LAFARGE	ENSEMBLE PROFESSION
Consommation spécifique totale d'énergie électrique (kWh/t)	89,6	90,9
Consommation spécifique d'énergie de fragmentation (kWh/t)	66,4	68,7
Energie fragmentation/ énergie électrique totale	74,60 %	75,57 %

On constate une bonne concordance entre les résultats déterminés à partir des deux sources d'information.

INFORMATIONS RECUEILLIES AUPRES DU
SYNDICAT NATIONAL DES FABRICANTS DE CIMENTS ET DE CHAUX

41, avenue de Friedland

ANNEE :	1972	1973
<u>Production (en Mt)</u>		
Production de ciment	30,115	30,590
Production de chaux hydraulique (par les cimentiers)	0,995	0,940
Production tous liants	31,110	31,530
<u>Clinker</u>		
Production de clinker pour la fabrication de ciment en France	24,921	25,260
Production de clinker pour l'exportation	1,115	1,355
Production totale de clinker	26,036	26,615
<u>Gypse</u>		
<u>Produits d'addition consommés en France</u>		
Laitier granulé de haut fourneau ..	3,070	
Cendres volantes	0,825	
Pouzzolanes	0,185	
Total des additions (gypse exclu) .	4,080	
<u>Consommation d'énergie électrique (en gWh)</u>		
Pour le ciment	2.820	2.856
Pour la chaux	23	24
Divers	53	55
Total	2.896	2.935

INTERPRETATION DES INFORMATIONS COMMUNIQUEES
PAR LE SYNDICAT DES FABRICANTS DE CIMENTS

	1972		1973			
		matière (Mt)	énergie (gwh)		matière (Mt)	énergie (gwh)
Production de ciment en France		30,115			30,590	
Production de clinker pour la fabrication de ciment broyé en France		24,921			25,260	
% de clinker dans le ciment	82,75			82,57		
Coefficient de transformation clinker → ciment	1,208			1,211		
Production de clinker exporté		1,115			1,355	
Consommation d'énergie électrique pour l'ensemble de la production (clinker et ciment)			2.820			2.856
Energie électrique consommée en France pour la fabrication du clinker exporté (55 kWh/t)			61			74
Energie électrique consommée pour le ciment fabriqué en France			2.760			2.782
Consommation spécifique d'énergie électrique (kWh/t)	91,6			90,9		

CIMENTERIE ENSEMBLE DE LA PROFESSION

(année 1973)

	Consommation d'énergie électrique en kWh ramenée à la tonne				
	de calcaire	de clinker	de ciment		
			Total	Fragmen- tation	Divers
Coefficient de transformation					
calcaire → clinker		1/0,64			
clinker → ciment			1/1,21		
Poste 1 : carrière	3	4,7	3,9		
dont { concassage				2,9	
{ divers					1,0
Poste 2 : préparation du clinker			41,3		
dont { broyage du { cru	18	28		23,1	
{ cuisson		22			18,2
Poste 3 : finition			45,7		
dont { broyage clinker { et additifs				42,7	
{ stokage et { expédition					3
Total des postes 1,2,3			90,9	68,7	22,2

35 - 36 - 37 - 40 - 45 - 61 - INDUSTRIES DIVERSES

35 - 36 - 37 - 40 - 45 - 61 - INDUSTRIES DIVERSESOBJECTIF DE LA FRAGMENTATION.

Cette rubrique concerne des activités très variées. Il n'est pas possible ici d'associer aux opérations de fragmentation la définition d'un objectif global. Chaque fabrication est un cas particulier ayant ses propres contraintes.

METHODOLIGIE DE L'ENQUETE.

La principale difficulté de faire une évaluation dans ce domaine d'activité provient de son très grand morcellement.

Nous avons cherché à cerner la consommation d'énergie de fragmentation à partir de deux types de sources d'informations :

- les évaluations statistiques des tonnages des produits commercialisés ;
- les estimations de consommation spécifique à partir des documentations des constructeurs.

RESULTATS.

	Total pour la France	
	en gWh	en % de la consommation française d'énergie électrique
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	200	0,135 %
Consommation totale d'énergie électrique en France (gWh)	118 000	

INDUSTRIES DIVERSES

Ce secteur couvre notamment les postes 35 - 36 - 37 - 40 - 45 - 61. de la classification INSEE.

- 35 - 36 - Industrie chimique
- 37 - Caoutchouc et amiante
- 40 - Travail des grains et farines
- 45 - Industries alimentaires diverses
- 61 - Transformation des matières plastiques.

L'examen des techniques utilisées dans ces différentes professions a montré le caractère très spécifique des matériels employés dans les 4 derniers groupes.

Les procédés concernés ne présentant que peu d'analogie avec les méthodes de concassage et de broyage qui ont fait l'objet des travaux et études classiques, nous avons été amenés à ne pas prendre en compte dans cette enquête l'énergie consommée par les opérations correspondantes.

Les rubriques 35 et 36 par contre, malgré leur grande diversité font généralement appel à des matériels assez semblables à ceux que nous avons rencontré dans les diverses industries primaires déjà étudiées.

Le dépouillement des listes de référence des principaux constructeurs a permis de déterminer quels étaient les produits les plus souvent cités au titre d'application de leurs matériels.

Ceci nous a amené à répartir les industries consommatrices d'énergie de fragmentation en trois groupes :

- les engrais et amendements agricoles qui représentent un poste très important tant par le tonnage concerné que par la consommation spécifique ;
- différentes industries assez bien identifiées qui nécessitent des énergies spécifiques assez importantes mais ne traitent que des tonnages moyens (abrasifs, charges, colorants, électrodes, talc, soufre, etc...) ;
- des industries de dernière transformation consommant souvent des énergies spécifiques très élevées mais ne traitant à l'échelle française que des tonnages faibles (insecticides, produits pharmaceutiques, etc...).

Pour situer les ordres de grandeur de la consommation d'énergie de fragmentation par l'industrie chimique, nous avons été amenés à procéder de la façon suivante :

il a été fait une étude détaillée du groupe (1) (production des engrais) et de quelques fabrications des groupes (2) et (3).

Nous avons ainsi été amenés à estimer à :

- environ 60 gWh l'énergie consommée par l'industrie des engrais,
- quelques gWh chaque industrie du groupe (2),
- quelques gWh l'ensemble des industries du groupe (3).

On peut donc proposer 200 gWh comme plafond probable de la consommation d'énergie de fragmentation par les industries chimiques.

35.3 ENGRAIS.

Les engrais sont livrés aux utilisateurs :

- soit sous forme primaire (engrais azotés, superphosphates, phosphates naturels, engrais potassiques) ;
- soit sous forme de mélange binaire ou ternaire.

Le produit est vendu soit en poudre, soit comme cela tend à se généraliser, après granulation.

D'une façon générale les engrais passent par un stade où il sont fragmentés finement. Le passant à 90 % est généralement de l'ordre de 160 μm (tamis 100) mais peut atteindre 50 μm (tamis 300).

L'énergie nécessaire pour parvenir à ce degré de finesse varie entre 3 kWh/t et 10 kWh/t et peut dans certains cas atteindre 20 kWh/t.

Les résultats de la campagne 74/75 communiqués par la chambre syndicale de la profession conduisent aux tonnages suivants :

engrais azotés	:	3 000 000 t	
superphosphates	:	490 000 t	
phosphates naturels moulus	:	100 000 t	
scories de déphosphoration	:		1 780 000 t
engrais potassiques	:	350 000 t	
engrais composés binaires	:	3 400 000 t	
engrais composés ternaires	:	4 500 000 t	
		<hr/>	
		11 840 000 t	

Si nous excluons les scories de déphosphoration qui sont prises en charge à la rubrique sidérurgie, nous voyons que les opérations de fragmentation ont porté sur environ 12 Mt d'engrais.

Sur la base moyenne de 5 kWh/t cela conduit à une consommation totale d'environ 60 gWh.

36.4. PEINTURES, VERNIS, MASTICS, ENCRE.

L'annuaire statistique de l'INSEE (édition 1973) donne pour la production de ces produits les tonnages suivants :

peintures et vernis	: 520 000 t
mastics	: 105 000 t
encre d'imprimerie	: 44 000 t
pigments broyés	: 17 000 t

Les produits finis sont constitués par des mélanges (pigments, charges, solvants, siccatifs, etc ..).

Les solides soumis à fragmentation (pigments et charges) ne représentent guère que 20 % de l'ensemble.

C'est donc environ 140 000 tonnes de matière que cette industrie doit fragmenter.

Sur la base de 30 kWh/t cela conduit à 4,2 gWh.

36.2. ELECTRODES POUR L'ELECTROCHIMIE.

Cette industrie assure une production évaluée suivant les statistiques INSEE (édition 1973) à :

électrodes en carbone amorphe	: 139 000 t
électrodes graphitées (approximatif)	: 30 000 t
pâte Soderberg	: 161 000 t

L'état de fragmentation nécessaire à ces fabrications est relativement grossier (de 6 mm à 10 mm pour les plus gros grains). On fait cependant une correction de la courbe granulométrique en broyant à environ 200 μ m une partie de la matière première (de l'ordre de 10 %).

Globalement l'énergie de fragmentation nécessaire n'exède pas 3 kWh/t.

Cela conduit donc à une consommation globale d'énergie de l'ordre de 1 gWh.

89 - RESIDUS SOLIDES URBAINS ET INDUSTRIELS

89 - RESIDUS SOLIDES URBAINS ET INDUSTRIELS

OBJECTIF DE LA FRAGMENTATION.

L'objectif de la fragmentation est pour ce secteur d'activité :

- au niveau primaire, de réduire les déchets à une dimension qui facilite les manutentions et les traitements ultérieurs ;
- dans un processus aval éventuel, de séparer les uns des autres les matières constitutives des objets mis au rebut parmi les déchets traités.

RESULTATS.

	Total pour la France	
	en gWh	en % de la consommation française d'énergie électrique
Consommation d'énergie électrique en opérations de fragmentation	21	0,017 %
Consommation totale d'énergie électrique en France (gWh)	118 000	

RESIDUS SOLIDES URBAINS ET INDUSTRIELS.

Les déchets domestiques et industriels représentent un débit de matière dont la croissance est le résultat des effets cumulés de l'élévation de niveau de vie et de l'évolution démographique.

Leur rejet s'accompagne de problèmes d'environnement auxquels on devra apporter une attention accrue. Ces déchets constituent par ailleurs une réserve de diverses matières premières qu'il sera de plus en plus nécessaire de remettre dans les circuits de production. On verra donc s'accroître la tendance actuelle de soumettre les déchets solides à un traitement qui permette :

- de récupérer certaines matières ;
- de faciliter le dépôt des résidus dont la récupération ne peut pas être envisagée dans les conditions économiques actuelles.

La première opération d'un traitement est généralement une fragmentation primaire à laquelle on assignera comme objectif de réduire les déchets en morceaux de manutention facile sur lesquels on pourra appliquer les opérations de traitement aval.

Les opérations aval comportent des fragmentations fines souvent destinées à séparer les unes des autres les matières constitutives des objets mis au rebut parmi les déchets. Ces traitements aval portent notamment sur :

- la récupération des métaux,
- la récupération spécifique de certaines matières (papiers, textiles, plastiques, etc...),
- la transformation de certains déchets en verres, céramiques et autres produits pour le bâtiment et les travaux publics,
- la transformation en compost à usage agricole de certains déchets organiques,
- la gazéification par combustion d'une partie des déchets solides avec éventuellement récupération de l'énergie thermique résultant de la combustion.

Certains déchets font l'objet de chaînes spécifiques (carcasses de voitures, pneumatiques, gros électro-ménager, batteries d'accumulateurs, etc...).

Les déchets urbains non spécifiques excluent généralement ces éléments mais contiennent cependant parfois des pièces assez volumineuses qui nécessitent :

- soit un tri préalable,
- soit un sur-dimensionnement du concasseur primaire.

Cette fragmentation primaire est généralement réalisée par un concasseur à marteaux, cependant comme il s'agit d'une branche d'activité dont le développement est relativement récent, les rhéogrammes de traitement ont souvent encore un caractère expérimental.

D'autres possibilités de fragmentation à ce stade ne sont donc pas à éliminer (déchiqueteuses, rapes, tambours pulvérisateurs, etc...).

En 1972, la collecte des déchets urbains a été évaluée à 11 millions de tonnes. C'est à environ 13 % que l'on peut estimer la proportion de ces déchets qui ont fait l'objet d'un traitement, soit 1,4 Mt.

La consommation spécifique d'énergie de fragmentation dans une usine de traitement varie considérablement suivant l'objectif. Elle est généralement estimée sur la base de 10 kWh/t pour parvenir à une dimension inférieure à 100 mm et peut atteindre 20 kWh/t pour réduire les déchets au-dessous de 50 mm.

Cette consommation spécifique apparaît très élevée si on la compare aux fragmentations habituelles des matières premières.

Une des raisons possibles de ce mauvais rendement pourrait être la grande dispersion des caractéristiques physiques et mécaniques des matières traitées qui nécessiterait de réaliser la fragmentation par des procédés spécifiques de mise en contrainte.

La consommation également très élevée à la tonne traitée, des pièces d'usure (marteaux) semble apporter une confirmation et cette hypothèse.

Sur la base d'une consommation spécifique moyenne de 15 kWh/t la dépense annuelle française d'énergie dans ce secteur d'activité est donc de l'ordre de :

$$15 \times 1,4 = 21 \text{ millions de kWh soit } 21 \text{ gWh}$$

A l'échelle française ce chiffre n'est pas très élevé. On doit cependant considérer qu'il ne concerne que 13 % des déchets collectés et qu'une extension importante du tonnage traité justifierait un examen attentif du problème.

E - CONSOMMATION FRANCAISE D'ELECTRICITE

CONSOMMATION FRANCAISE D'ELECTRICITE

Sur l'année de référence 1971 la consommation totale d'énergie électrique a été de 137 TWh (soit 45,6 Mtec) sur un total de consommation d'énergie de 231,4 Mtec, (19,7 % de l'énergie consommée en France l'a été sous forme électrique).

Le diagramme E₂ récapitule le bilan de transformation des énergies primaires nationales et importées et leur contribution à la production d'énergie électrique.

Le diagramme E₃ précise les origines de l'énergie électrique produite en France en 1971.

Les diagrammes E₄ et E₅ mentionnent suivant le même schéma certaines informations partielles relatives aux années 1972 et 1973.

Dans ces différents documents l'équivalence en tec des différentes sources d'énergie a été établie sur les bases suivantes :

combustibles solides	: 1 tonne = 1 tec
pétrole brut	: 1 tonne = 1,4 tec
produits pétroliers commerciaux	: 1 tonne = 1,5 tec
gaz	: 1 000 th = 0,15 tec
électricité	: 1000 kWh = 0,333 tec

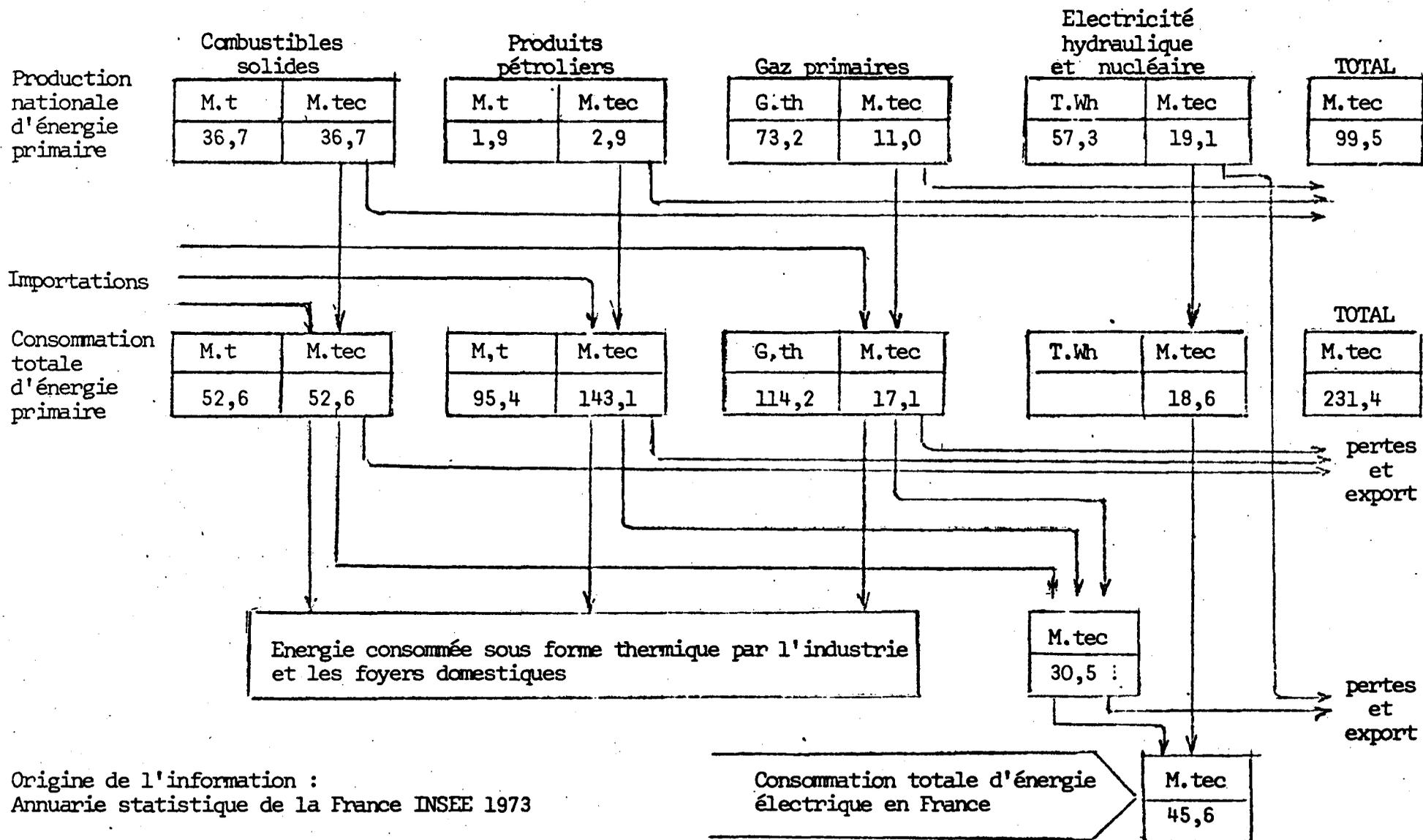
Sur la base des informations précédentes a été établi ci-après un tableau illustrant l'évolution de la consommation française d'électricité. Les nombres encadrés correspondent à des informations publiées. Les autres valeurs ont été déduites en supposant pour 72 et 73 un rendement de distribution identique à celui de 1971.

EVOLUTION DE LA CONSOMMATION FRANCAISE D'ELECTRICITE (en TWh)

	1971	1972	1973
consommation (pertes comprises)	147,4	157,5	171,3
consommation nette	137,0	148,3	159,1
rendement de distribution	0,9294	0,9294	0,9294

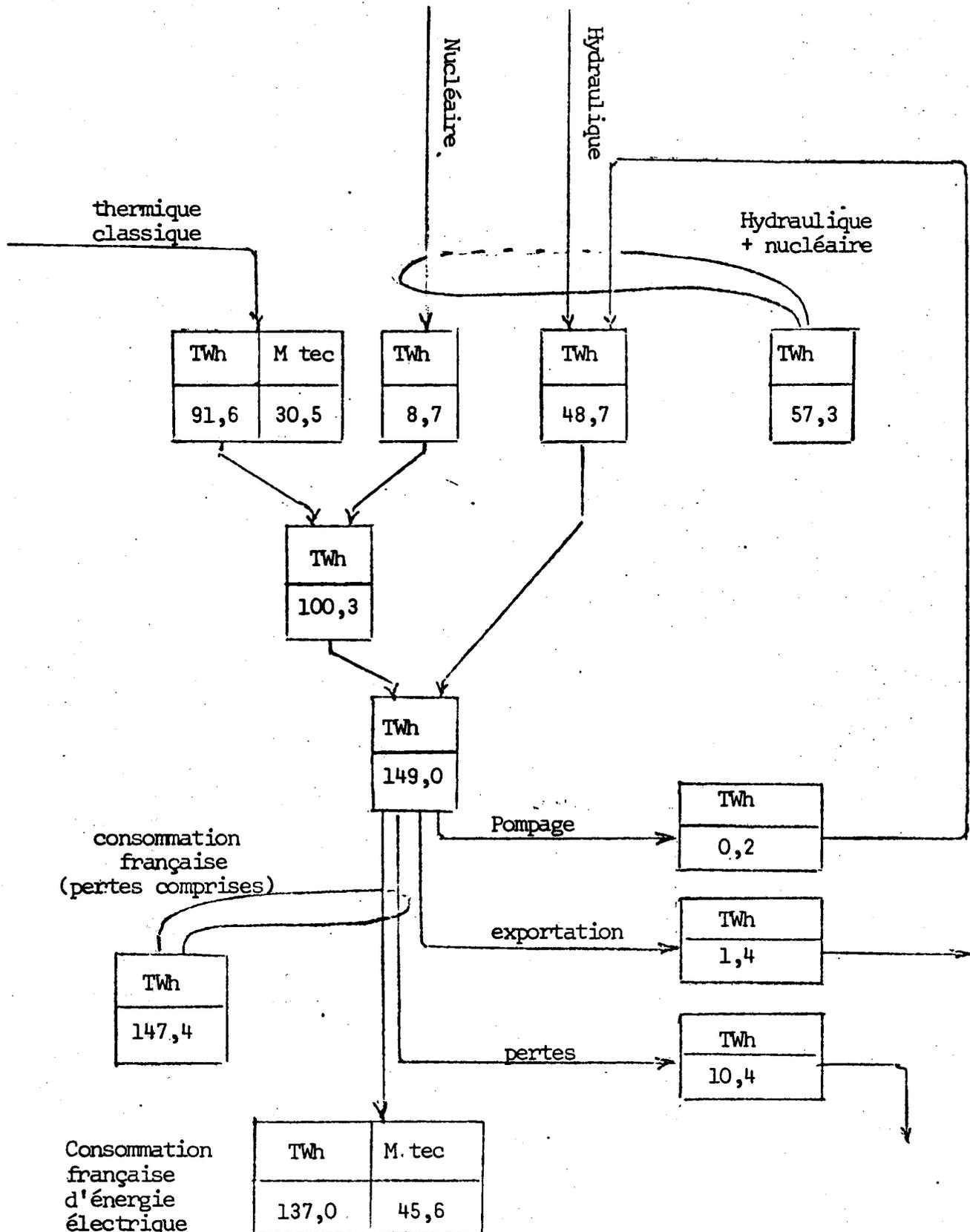
PRODUCTION NATIONALE ET CONSOMMATION EN FRANCE DES DIVERS TYPES D'ENERGIE

(année 1971)



PRODUCTION ET CONSOMMATION D'ENERGIE ELECTRIQUE EN FRANCE

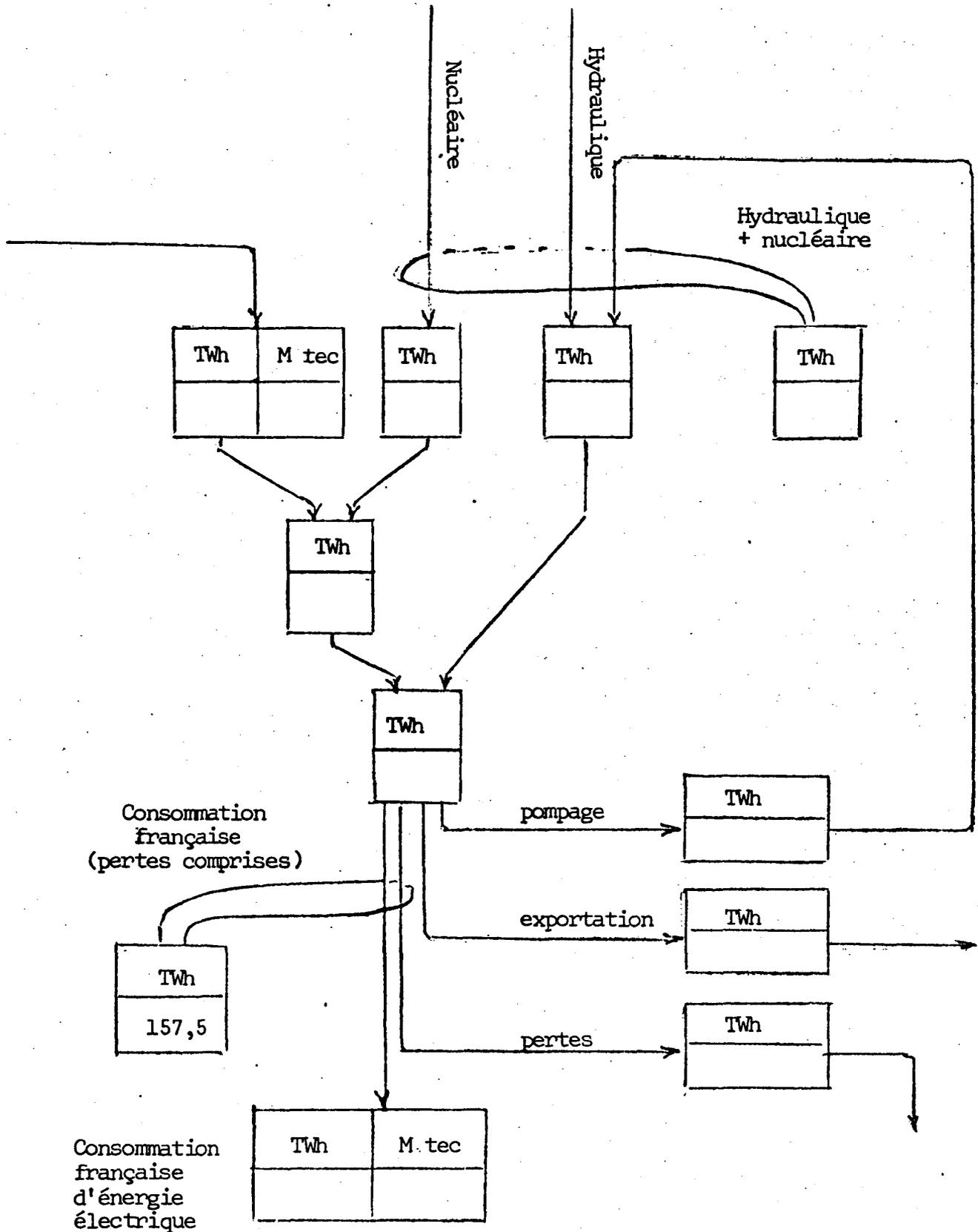
(année 1971)



Origine de l'information : statistiques INSEE -

PRODUCTION ET CONSOMMATION D'ENERGIE ELECTRIQUE EN FRANCE

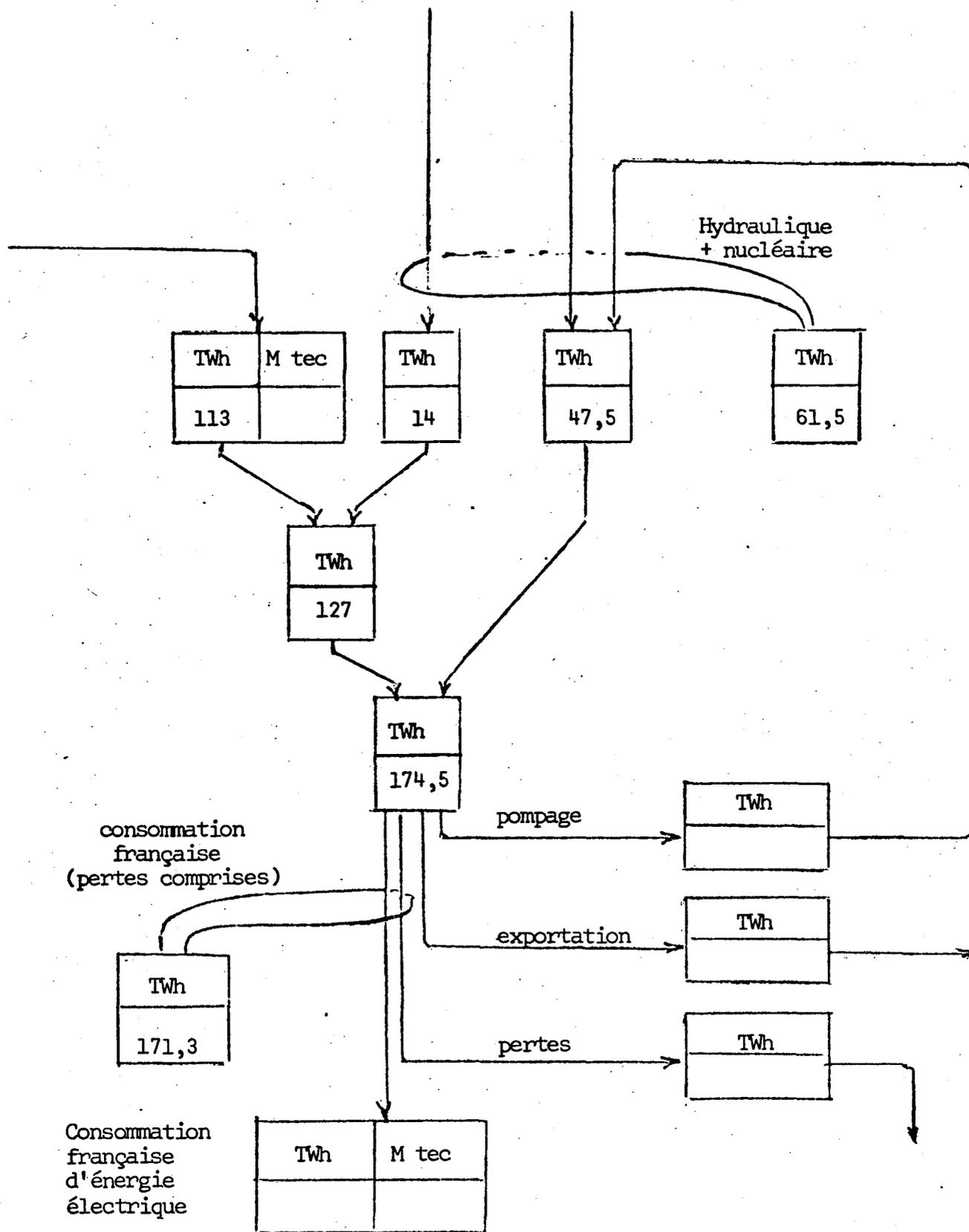
(année 1972)



Origine de l'information : Informations chimie (fev. 74) page 67

PRODUCTION ET CONSOMMATION D'ENERGIE ELECTRIQUE EN FRANCE

(année 1973)



Origine de l'information : Informations chimie (fév. 74) page 67